Digitaltechnik

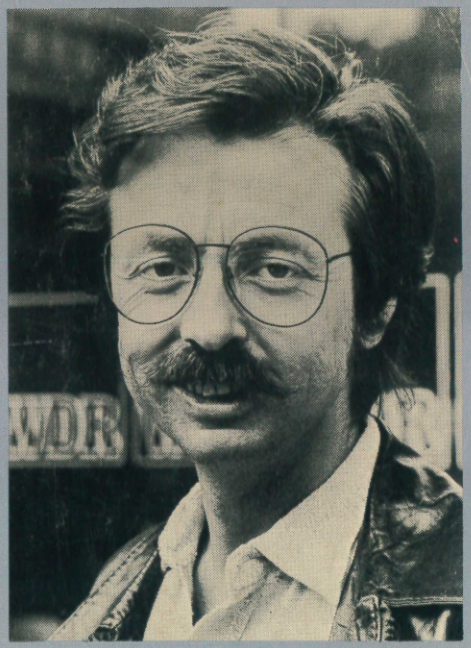
Digitaltechnik

Eine Einführung für Anfänger

Herausgegeben von

[redacted] Pütz

VDI-Verlag



Jean Pütz

Der Herausgeber Jean Pütz ist erster Redakteur für den Bereich Natur und Technik im WDR-Fernsehen, ist Ing. (grad.) der Nachrichtentechnik und hat nach seinem Ingenieurstudium Physik, Mathematik und Soziologie an der Universität Köln mit dem Abschluß des ersten Staatsexamens für das Lehramt in der Sekundarstufe II studiert. Er war Studienrat für die genannten Fächer und ist seit 1970 beim WDR-Fernsehen als Wissenschaftsjournalist tätig. Durch Sendungen und Publikationen aus dem Bereich der Elektronik hat er sich einen Namen gemacht. Unter anderem realisierte er folgende Sendereihen: „Einführung in die Elektronik", „Die Welt des Schalls", „Televisionen – die Welt des Fernsehens" und „Einführung in die Digitaltechnik", zu der dieses Buch entstand. Für die Sendung „Intelligenz in Miniatur – Mikroprozessoren revolutionieren die Technik" wurde ihm der Battelle-Preis für Wissenschaftsjournalistik 1977 zuerkannt. Als besonders erfolgreich ist auch die „Hobbythek" zu nennen, die er als verantwortlicher Redakteur betreut.

Mit diesem Buch gibt er allen, die sich in die Digitaltechnik als Anfänger einarbeiten wol[l] Standardwerk an die Har[d] Es ist gleichermaßen für [d] satz im fachbezogenen U[n]richt der Sekundarstufe, [d] Berufsschulen und als Ei[n]literatur in Hochschulen [u] Besonders empfiehlt es [s] Elektrotechniker und Ele[k]niker, die keine Gelegen[h]hatten, in ihrer Ausbildu[n]so junge Disziplin der D[i]nik kennenzulernen. Au[ch] Hobby-Elektroniker ka[nn] die Digitaltechnik seinen Betätigungsbereich wesentlich verbreitern.

Digitaltechnik

DIGITALTECHNIK

Eine Einführung für Anfänger

Sechste, neubearbeitete Auflage

Ernst Beckmann
Helmut Groh
Roland Jeschke
Wolfgang Weber

Herausgegeben von Jean Pütz

VDI-Verlag GmbH

Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure · Düsseldorf

Titelaufnahme für eine Schrifttumkartei

DK 681.32

Beckmann Ernst, Helmut Groh, Roland Jeschke u. Wolfgang Weber
Digitaltechnik. Eine Einführung für Anfänger
Sechste, neubearbeitete Auflage

Hrsgg. v. *Jean Pütz*

Düsseldorf: VDI-Verl. 1978. V, 426 S., 729 Bild., 76 Tab.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Digitaltechnik: e. Einf. für Anfänger / Ernst Beckmann. . . Hrsgg. von Jean Pütz. – 6., neubearb. Aufl. – Düsseldorf: VDI-Verlag, 1978.
ISBN 3-18-400404-X

NE: Beckmann, Ernst [Mitarb.]; Pütz, Jean [Hrsg.]

© VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1978

Alle Rechte, auch das des auszugweisen Nachdruckes, der auszugweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

ISBN 3-18-400404-X

Vorwort des Herausgebers

Das Erscheinen der sechsten, neubearbeiteten Auflage dieses Buches veranlaßt mich, eine kurze Bilanz zu ziehen. Das Projekt „Einführung in die Digitaltechnik" ist in enger Zusammenarbeit des WDR-Fernsehens mit dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) entstanden. Es war die erklärte Absicht der Realisatoren, die Methoden der Digitaltechnik, die für die moderne Technologie eines Industrielandes heute unentbehrlich sind, auf breiter Basis zu vermitteln; quasi eine technische Infrastruktur auf dieser Ebene schaffen zu helfen, die als Grundlage für alle Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektrotechnik gelten kann. Immerhin ist die Elektronik mittelbar oder unmittelbar der entscheidende Motor der meisten technischen Innovationen.

Daß sich diese Bedeutung herumgesprochen hat, läßt sich an dem großen Interesse ablesen, das der Kurs „Digitaltechnik" in der Bundesrepublik Deutschland und im deutschsprachigen Ausland gefunden hat. Alle dritten Fernsehprogramme der ARD (Allgemeine Rundfunkanstalten Deutschlands) haben die 13 Folgen teilweise in mehreren Wiederholungen ausgestrahlt. Darüber hinaus wurden sie vom ORF (Österreichischer Rundfunk-Fernsehen) und vom Schweizer Fernsehen übernommen. Über 500 000 Fernsehzuschauer haben die Sendung regelmäßig verfolgt. Insgesamt 80 000 Exemplare des vorliegenden Buches sind verkauft worden, und über 10 000 Personen haben die vom VDI veranstalteten Praxisseminare besucht und zum größten Teil mit einem Zertifikat abgeschlossen. Diese Fakten beweisen, daß wir mit dem Erfolg unseres Experimentes „Digitaltechnik" zufrieden sein können.

Ein Dank an alle Zuschauer, die uns mit Lob und konstruktiver Kritik bestärkt haben. Dank auch an die Leser des Buches, die vor allem die Feinkorrekturen durch aufmerksames Mitdenken ermöglicht haben. Sie waren es auch, die uns veranlaßten, die Beschriftung auf der Titelseite zu ändern. Bisher stand dort: „Digitaltechnik – ein Einführungskurs für das Selbststudium und den Medienverbund-Fernsehen-Seminare-Lehrbuch". Dies wurde häufig mißverstanden. Aus den Zuschriften erfuhren wir, daß viele Leser, die aus irgendeinem Grund keine Gelegenheit fanden, die Sendungen zu verfolgen, zunächst gar nicht auf die Idee kamen, das Buch zu Rate zu ziehen, weil sie es nur im Kontext des Medienverbundes als sinnvoll ansahen. Dies entsprach nicht den Absichten, die wir mit dem Buch verfolgt hatten. Das Konzept des Buches war so angelegt, daß es auch völlig ohne Fernsehbegleitung durchzuarbeiten und zu verstehen ist. Wir wollten damit ein Standardwerk schaffen, das vielen Ansprüchen gerecht wird, es vor allem aber dem Anfänger ermöglicht, auf einfache, verständliche Weise in das Gebiet der Digitaltechnik einzusteigen. Es freut uns, daß dieses Buch auch in der Buchkritik vielfach gewürdigt worden ist.

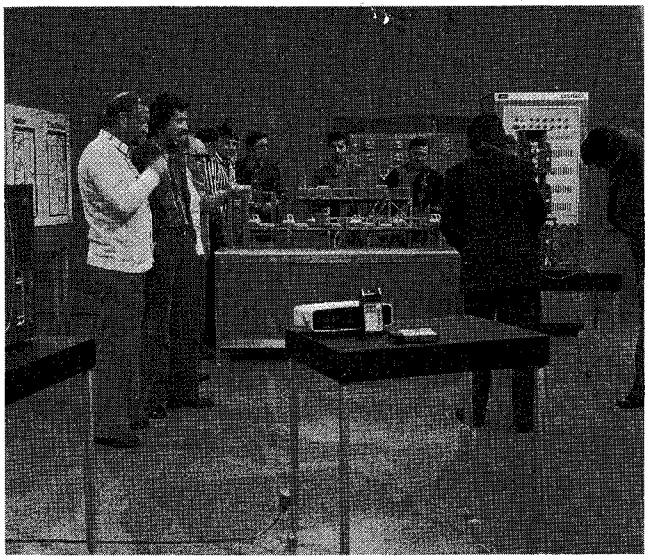
Köln, September 1978 *Jean Pütz*

Inhalt

Seite

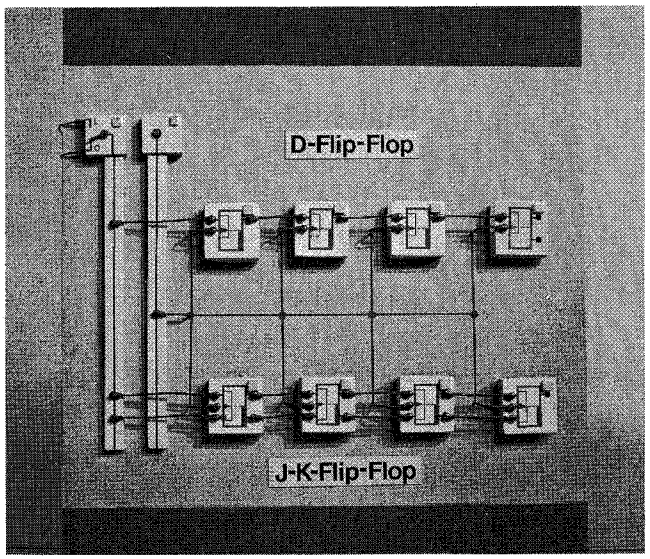
1. Digitaltechnik: Das Prinzip der kleinen Schritte 2
2. Wahr oder unwahr – Antworten auf logische Fragen 36
3. Logische Probleme und ihre Lösungen mit UND, ODER und NICHT 56
4. Technische Ausführungen von Logikgliedern 74
5. NOR- und NAND-Glieder: universelle Digitalbausteine 104
6. Flip-Flop: Signale werden gespeichert 134
7. Signale werden zeitlich beeinflußt 170
8. Schieberegister 194
9. Die Zählweise elektronischer Zähler. 1 + 1 = 10 216
10. Binäre Zähler in der Anwendung 244
11. Grundlagen der digitalen Informationsübertragung 274
12. Numerisch gesteuerte Maschinen 294
13. Computerrechnen – Schnelligkeit ist keine Hexerei 325

14. Die Lösungen zu den Übungen 352
15. Normbezeichnungen und Symbole im internationalen Vergleich 405
16. Schrifttum 413
17. Sachwortverzeichnis 416
18. Bildnachweis 425



Zu Folge 1. Digitaltechnik: Das Prinzip der kleinen Schritte. Gespannte Atmosphäre vor der ersten Szene – Funktionsprüfung eines komplizierten Studiomodells.

Zu Folge 3. Logische Probleme und ihre Lösungen mit UND, ODER, NICHT. Die logischen Verknüpfungen. – Magnettafel mit Logikbausteinen.



Zu Folge 8. Schieberegister. Modell zur Demonstration des Prinzips eines Schieberegisters. – Magnettafel mit D- und JK-Flip-Flopbausteinen.

Zu Folge 11. Eine Information wird übertragen. Vorbesprechung zwischen Redaktion und Regie. – Links der Regisseur der Sendereihe Janos Meszaros.

Studioszenen und Modelle aus der entsprechenden Fernsehsendereihe „Einführung in die Digitaltechnik"

1. Digitaltechnik: Das Prinzip der kleinen Schritte

Seit einigen Jahren dringen die Begriffe „digital" und „Digitaltechnik" immer stärker in den alltäglichen Sprachgebrauch ein. Immer größer wird der Personenkreis, der sich der Methoden und der Geräte der Digitaltechnik bedient. So z. B. die Elektroniker, die die Wahl zwischen „Digitalvoltmeter" und „Analogvoltmeter" haben, aber auch die Konsumenten, denen man neben den konventionellen Uhren immer häufiger aber auch „Digitaluhren" anbietet, Bild 1/1.

Infolge des Marktangebots und der Werbung wird das Wort „digital" häufig in Verbindung mit den Begriffen „modernste Technik" oder „neuartige Technik" gebraucht. In vielen Fällen kann ein gewisses Unbehagen über diese scheinbar so neue Technik beobachtet werden. Dies ist besonders bei Praktikern aus Industrie und Handwerk der Fall, die mit der überaus schnellen technischen Entwicklung Schritt zu halten gezwungen sind, Bild 1/2.

Ist die Digitaltechnik nun wirklich so neuartig, so um vieles leistungsfähiger als die herkömmliche Technik? Was ist Digitaltechnik überhaupt? Wie sind ihre Methoden? Wer hat sich mit ihr auseinanderzusetzen?

Es gehört zu den Aufgaben dieses Buches, u. a. auch diese Fragen zu beantworten und evtl. bestehende Reserven gegen das „Neue" abzubauen.

Bild 1/1. Digitalanzeigende Bahnhofsuhr: Präzise und unmißverständliche Zeitangabe.

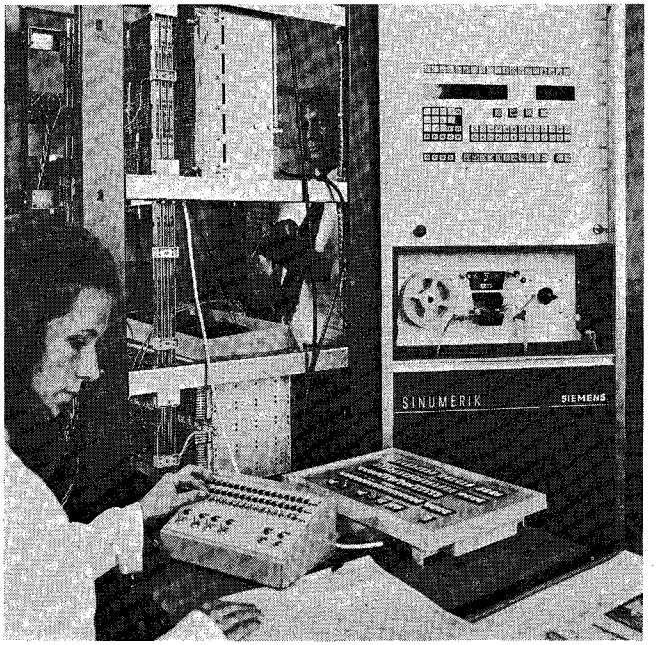


Bild 1/2. Arbeitsplatz aus dem Bereich der Digitaltechnik: Überprüfung einer digitalen Steuerungsanlage.

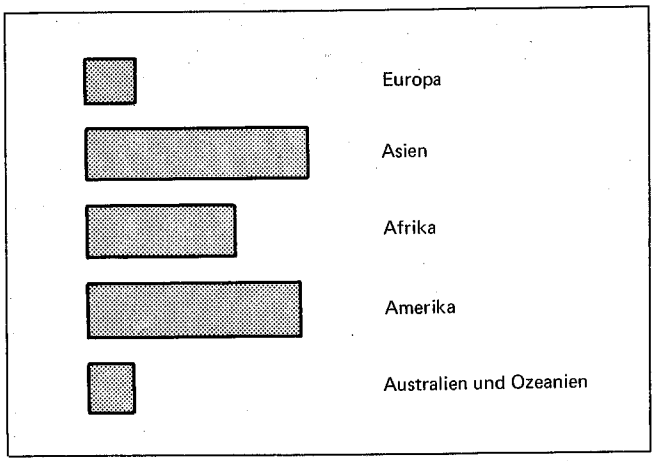


Bild 1/3. Analoge Darstellung der Landflächen der Erdteile.

Europa	10 000 000 km²
Asien	44 200 000 km²
Afrika	29 800 000 km²
Amerika	42 000 000 km²
Australien u. Ozeanien	8 900 000 km²

Bild 1/4. Digitale Darstellung der Landflächen der Erdteile.

Digitaltechnik – Analogtechnik: Abgrenzung und Vergleich

Will man die Vor- und die Nachteile der Digitaltechnik und die Möglichkeiten herausstellen, die sie zur Lösung technischer Probleme bietet, so gelingt dies am besten an Hand von Beispielen und hierbei im Vergleich zur konkurrierenden Technologie, der Analogtechnik.

Analoge und digitale Darstellungen

Eines der augenfälligsten Unterscheidungsmerkmale zwischen Analog- und Digitaltechnik findet man bereits bei der Darstellung von Größen- oder Sachzusammenhängen.

Zur Darstellung von Größen, z. B. physikalischer oder allgemeinwissenschaftlicher Natur, können zwei grundsätzlich verschiedene Prinzipien angewendet werden. Beide gebräuchlichen Darstellungsformen, die analoge wie auch die digitale Darstellung, sind gewiß bekannt. Ein Beispiel: Es sind die Landflächen der Erdteile vergleichend darzustellen.

In der analogen Darstellungsform, Bild 1/3, werden die Landflächen der Erdteile z. B. durch Rechtecke dargestellt, deren Längen ein Maß für die Größen der Erdteile sind und die mit einem Vergleichsnormal, z. B. 1 cm ≙ 10 Mill. km^2, verglichen werden müssen. Es besteht eine Analogie zwischen den Rechtecklängen und den Landflächen der Erdteile. Oder mit anderen Worten: Die Längen der dargestellten Rechtecke stehen im richtigen Verhältnis zu den Landflächen der Erdteile.

Bei der digitalen Darstellung der gleichen Gegebenheiten werden die Erdteilflächen durch Zahlenangaben, d. h. durch ein Aneinanderreihen verschiedener Ziffern (digits), dargestellt, Bild 1/4. Es ist ersichtlich, daß durch Hinzufügen weiterer Ziffern die Genauigkeit der Flächenangaben erhöht werden könnte.

Besonders die moderne Meßtechnik macht von der digitalen Anzeige von Meßgrößen immer mehr Gebrauch. Am Beispiel der Spannungsmessung lassen sich analoge und digitale Darstellungsarten verständlich gegenüberstellen, Bild 1/5 und 1/6.

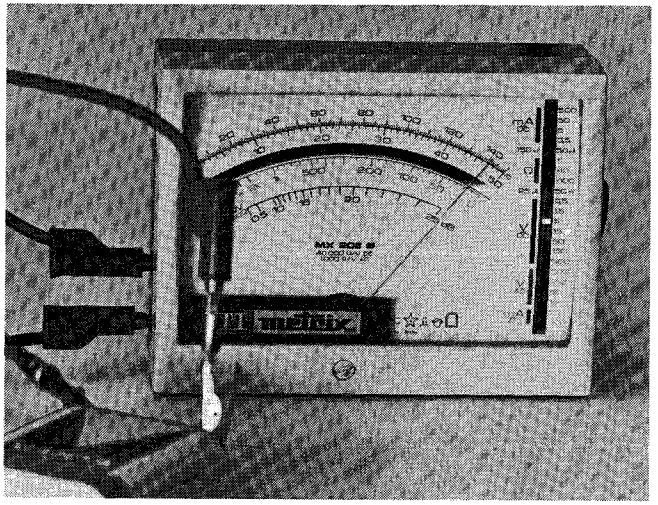


Bild 1/5. Analoganzeigender Spannungsmesser.

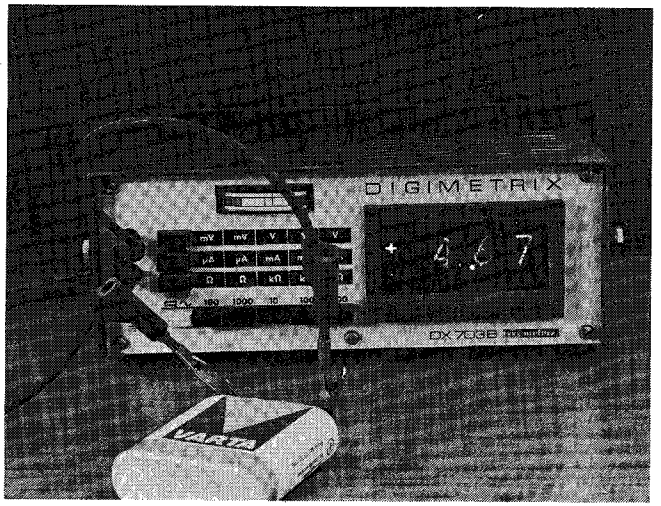


Bild 1/6. Digitalanzeigender Spannungsmesser.

Der Betrag einer elektrischen Spannung läßt sich als Zeigerausschlag oder als Ziffernanordnung zur Anzeige bringen. Das Zeigerinstrument ist ein sog. Analogvoltmeter. Hierbei entspricht der Zeigerausschlag dem Betrag der Spannung. Der Zeigerausschlag ist der Spannung verhältnisgleich (Bild 1/5).

Beim Digitalvoltmeter, Bild 1/6, wird der Betrag der Spannung ziffernmäßig angezeigt. Neben einem sehr hohen Auflösungsvermögen und einer außerordentlichen Genauigkeit besitzen solche digitalen Meßinstrumente häufig noch den Komfort, daß sie sich völlig selbständig auf den günstigsten Meßbereich einstellen. Daß nebenbei auch noch das Vorzeichen automatisch richtig angezeigt wird, weiß der Techniker besonders zu schätzen.

Übung 1/1 ?

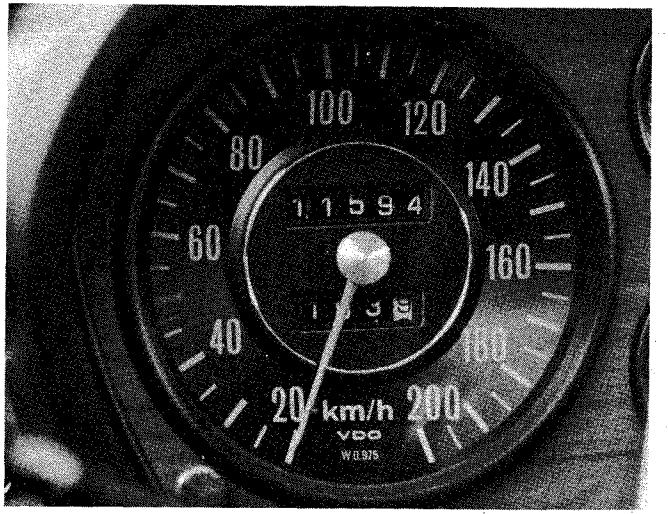


Bild 1/7. PKW-Anzeigeeinheit: Tachometer- und Kilometerzähler.

Bild 1/7 zeigt eine vertraute Anzeigeneinheit. Ergänzen Sie folgende Aussagen:

a) Der Fahrzeugtachometer gibt die Fahrgeschwindigkeit in ..... Darstellung an.

b) Kilometerzähler und Tageskilometerzähler sind ..... anzeigende Instrumente.

Vor- und Nachteile der digitalen Darstellung

Die beiden vorgestellten Darstellungsarten konkurrieren z. Z. in hohem Maße bei Konsum- und Investitionsgütern. Wenn man den Werbeleitern glauben dürfte, dann müßte derjenige, der etwas auf sich hält, eine Digitaluhr besitzen, einen digitalen Taschenrechner haben oder sich ein Fieberthermometer mit digitaler Anzeige zulegen.

Will man die Vor- und Nachteile der digitalen Darstellung beurteilen, so muß man differenzierter vorgehen. Dies soll am Beispiel der Darstellung des Ergebnisses einer elektrischen Spannungsmessung geschehen.

Um das Ergebnis einer analogen Spannungsmessung am Meßinstrument ermitteln zu können, muß der Meßtechniker die Zeigerstellung mit der Skala vergleichen. Da die Skala in Bruchteile des Endausschlages eingeteilt ist, muß der eigentliche Spannungswert in der Regel geschätzt werden, Bild 1/8. Der Spannungsbetrag, der dem Abstand zweier Teilstriche zugeordnet ist, dient als Schätzhilfe. Dabei erfolgt eine Quantisierung der analogen Meßgröße, d. h. man denkt sich den kontinuierlichen Ausschlag des Zeigers wie einen stufenförmigen Verlauf, um jeder einzelnen Stufe einen Zahlenwert zuordnen zu können. Über dieses Problem der Quantisierung wird in den folgenden Abschnitten Näheres gesagt.

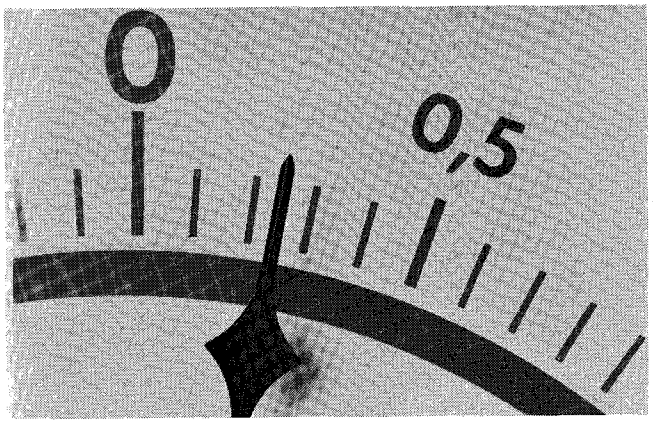


Bild 1/8. Zeigerstellung bei einem analog anzeigenden Meßinstrument.

Aus diesem geschilderten Problem heraus ergibt sich die Möglichkeit, daß zwei unabhängige Beobachter ein und demselben Zeigerausschlag zwei verschiedene Meßwerte zuordnen oder auch, daß zwei Zeigerstellungen, die sich nur um einen Bruchteil voneinander unterscheiden, der gleiche Meßwert zugeordnet wird.

Bei der digitalen Darstellung der Meßgröße liegt systemgemäß ebenfalls eine Quantisierung vor. Diese erfolgt jedoch bereits in der Meßeinrichtung. Sie ist folglich ohne subjektiven Einfluß durch den Beobachter.

Die digitale (ziffernmäßige) Darstellung einer Meßgröße ist in jedem Falle eindeutiger als die analoge. Während z. B. bei einer Analogwaage das Ergebnis erst durch den subjektiven und somit unsicheren Vergleich mit einem Vergleichsnormal gewonnen wird, ergibt sich eine fast beliebige Darstell- und Ablesegenauigkeit bei der digitalen Anzeige eines Gewichts. Die Darstellgenauigkeit kann durch das Hinzufügen weiterer Stellen erhöht werden.

Während nun die digitalen Anzeigen eindeutig sind, sind dagegen in vielen Fällen der Praxis analoge Anzeigen

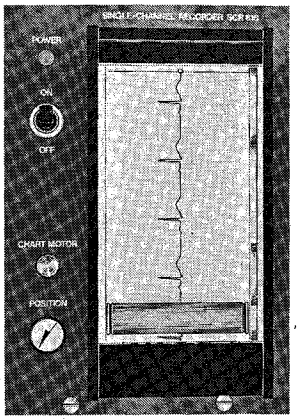


Bild 1/9. Linienschreiber (E.K.G.) aus dem Einsatzbereich „Medizin".

schneller zu erfassen. Dies gilt immer dann, wenn es auf relative Werte oder auf Tendenzen ankommt. So interessiert es z. B. in vielen Betriebsanlagen nicht, ob eine Spannung von 217,3 V oder 221,6 V vorliegt, sondern ob sie in der Nähe von 220 V liegt oder gar, ob überhaupt Spannung vorhanden ist.

Vorteile bietet die analoge Darstellung auch bei der Auswertung laufend aufgenommener Meßprotokolle. Bei einem mit Hilfe eines Linienschreibers, Bild 1/9, erfaßten Meßgrößenverlauf wird wesentlich schneller erkennbar, ob bestimmte Grenzwerte zu irgendeiner Zeit unter- oder

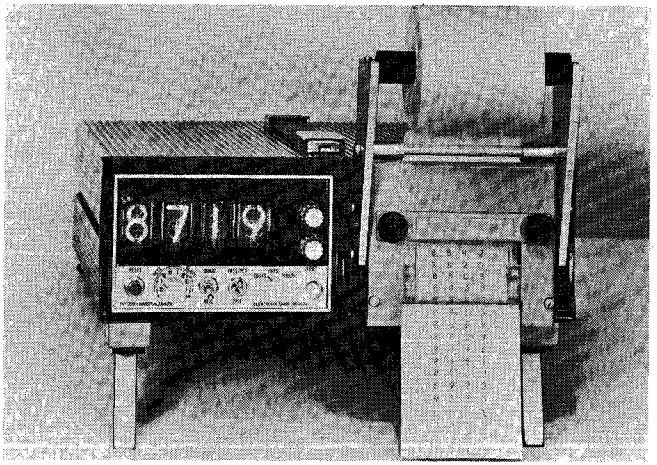


Bild 1/10. Digitale Meßwertspeicherung auf einem Meßwertdruckerstreifen.

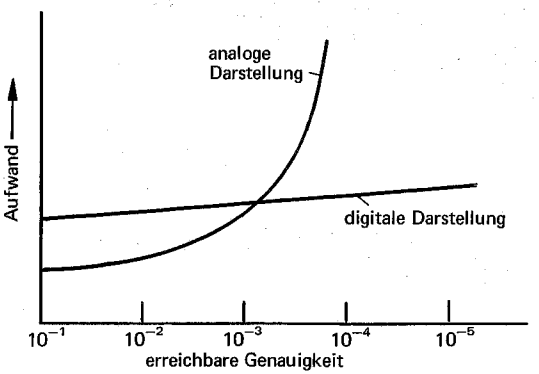


Bild 1/11. Mit wachsender erreichbarer Genauigkeit ist die digitale Darstellung kostengünstiger.

überschritten werden, als dies aus einem mittels Zifferndrucker niedergeschriebenen Protokoll möglich ist, Bild 1/10.

Andererseits wiederum sind digital dargestellte Meßwerte, wie man sie z. B. auf Datenträgern gespeichert findet, für die Weiterverarbeitung in elektronischen Datenverarbeitungsanlagen besonders gut geeignet.

Nach der Betrachtung der beiden Darstellungsverfahren wird augenscheinlich, daß die Feinheit der Stufung und damit die Genauigkeit der digitalen Darstellung durch Hinzufügen weiterer Ziffern fast beliebig erhöht werden kann, während der Genauigkeit der analogen Darstellung technisch enge Grenzen gesetzt sind, die auch bei sehr hohem finanziellen und technischen Aufwand nicht überschritten werden können, Bild 1/11.

Digitale und analoge Signalisierung von Meßgrößen

Die Vorzüge der digitalen Darstellung von physikalischen Größen haben in der Meßtechnik dazu geführt, daß digitale Meßgeräte immer mehr bevorzugt werden.

Allerdings fallen die in der Technik zu erfassenden Meßgrößen so gut wie nie bereits von Natur aus digital an. Man muß sie folglich künstlich digital signalisieren. (Unter der Signalisierung einer Meßgröße versteht man ihre Abbildung durch ein Signal.) In dem Begriff „Signal" bietet sich überhaupt ein wesentliches Unterscheidungskriterium von Analog- und Digitaltechnik.

Sowohl mit Hilfe der Analogtechnik wie auch mit Hilfe der Digitaltechnik lassen sich die Probleme der Automatisierungstechnik und, soweit hierin nicht bereits schon enthalten, die Probleme der Nachrichtentechnik lösen. Beide technologische Formen unterscheiden sich weniger in den grundsätzlichen Aufgabenstellungen, zu deren Lösungen sie herangezogen werden, so kann man z. B. sowohl analog wie auch digital rechnen, Bild 1/12 und 1/13, sondern vielmehr in der Art der verwendeten Signale.

Immer dann, wenn es zwischen Mensch ⇔ Mensch, Mensch ⇔ Maschine, Bild 1/14, oder Maschine ⇔ Maschine zu einem Informationsaustausch kommt, so geschieht die Übermittlung durch Signale.

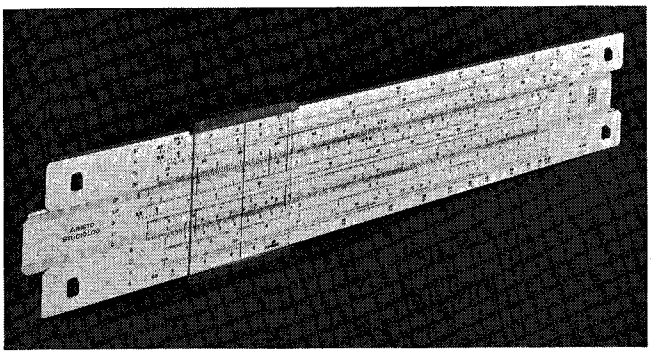


Bild 1/12. Der Rechenstab – ein analog arbeitendes Rechengerät.

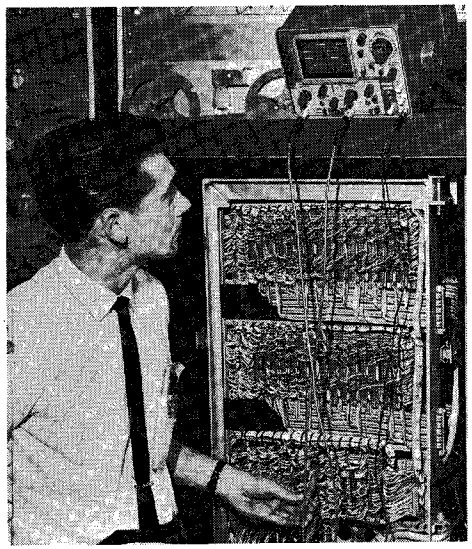


Bild 1/14. Kommunikation zwischen Mensch und elektronischer Anlage: Binäre Signale auf dem Oszilloskop. Das Bild zeigt einen Elektroniker vor dem Oszilloskop; das Oszillogramm ist sichtbar (binäre Signale).

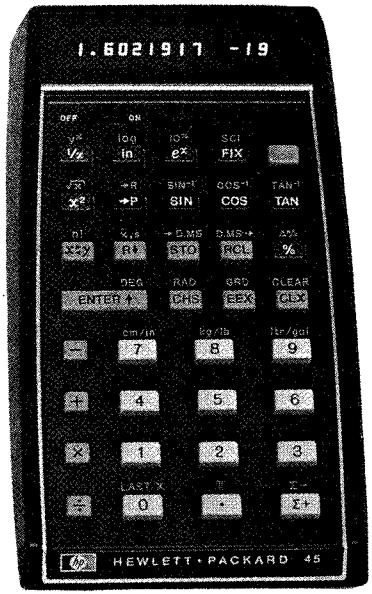


Bild 1/13.
Der Taschenrechner – ein digital arbeitendes Rechengerät.

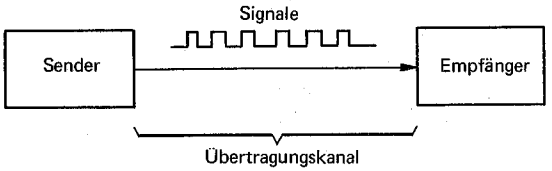


Bild 1/15. Ohne Signale gibt es keine Informationsübertragung.

Signale sind die physikalische Repräsentation einer Nachricht und damit Träger einer zu verarbeitenden Information. Ohne Signale gäbe es keine Informationsübertragung zwischen Sender und Empfänger, Bild 1/15. Die physikalische Form der Signale wird entweder den physikalischen Erfordernissen des Übertragungskanals angepaßt oder sie liegen von Natur aus bereits vor.

Übung 1/2 ?

Bilder 1/12 und 1/13 zeigen einen analog arbeitenden Rechenstab und einen digitalen Taschenrechner.

a) Wie werden bei beiden Rechengeräten die untereinander rechnerisch zu verknüpfenden Zahlenwerte eingegeben?

b) Wie werden bei beiden Rechengeräten die Ergebnisse angezeigt?

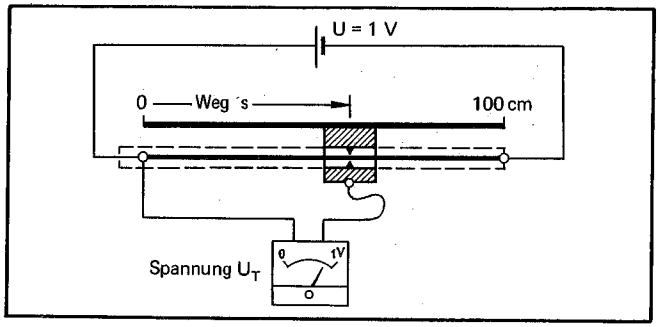


Bild 1/16. Prinzip der analogen Weg-Signalisierung.

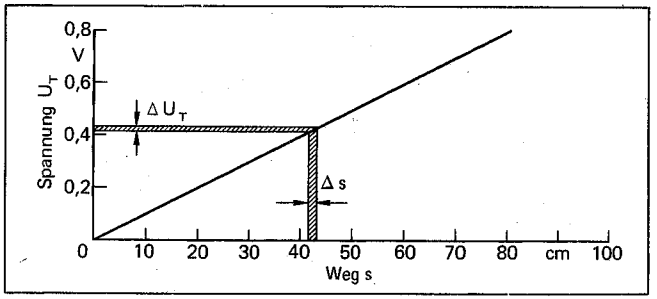


Bild 1/17. Die abgegriffene Spannung steht in Analogie zum Abstand des Schleifers vom Nullpunkt des Systems.

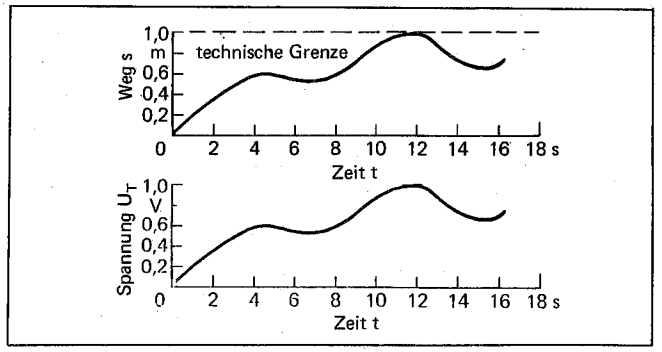


Bild 1/18. Meßgröße und Signalgröße ändern sich zeitlich: Die Analogie bleibt gewahrt.

So sind im direkten Gespräch zweier Personen untereinander in der Regel keine technischen Hilfsmittel notwendig. Die Informationen wechseln in Form akustischer Signale von Person zu Person. Zur Überbrückung großer Entfernungen wird als physikalischer Repräsentant der Nachricht vorzugsweise das elektrische Signal verwendet.

Soll der zeitliche Verlauf einer physikalischen Größe, z. B. der Weg eines Maschinenteils, zwischen einem Sender und einem Empfänger übermittelt werden, so kann dies grundsätzlich in Form analoger aber auch in Form digitaler elektrischer Signale erfolgen.

Zwei Versuchseinrichtungen sollen diese beiden möglichen Signalisierungsarten vergegenwärtigen, vgl. Bild 1/16 und 1/24. Wir nehmen an, daß die Position eines Maschinenteils meßtechnisch zu erfassen und in Form elektrischer Signale an eine zentrale Meßgrößen-Erfassungsstelle zu übermitteln sei.

Eine der möglichen Lösungen des Problems besteht darin, daß man die Position des Maschinenteils über einen Schleifdraht in Form einer elektrischen Spannung abruft, Bild 1/16. Zu jeder auch noch so kleinen Veränderung der Maschinenteilposition gehört eine entsprechende Veränderung der abgegriffenen Spannung, Bild 1/17.

Bei gleichmäßig kalibriertem Widerstandsdraht steht die abgegriffene Spannung in Analogie zu dem Abstand des Maschinenteils vom Nullpunkt des Systems. Die Position des Maschinenteils wird analog signalisiert. Beim Empfänger kann der analoge Spannungsmesser direkt in der Wegeinheit „cm" geeicht werden.

Analoge Signale sind dadurch gekennzeichnet, daß sie innerhalb technischer Grenzen beliebige Zwischenwerte einnehmen können, Bild 1/18. Eine kontinuierliche Veränderung der Position des Maschinenteils hat eine ebenfalls kontinuierliche, nicht sprunghafte Veränderung der Signalgröße „elektrische Spannung" zur Folge.

In Bild 1/18 wird eine zeitliche Veränderung der Maschinenteilposition angenommen, wie sie sich beim Betrieb der Anlage ergeben könnte. Zu jedem Zeitpunkt ist die elektrische Spannung der signalisierten Maschinenteilposition analog.

Legt man statt einer Gleichspannung eine Wechselspannung an den Schleifdraht, so ist hier die Amplitude der Signalspannung zu jedem Zeitpunkt der Maschinenteilposition analog.

Ein anderes Beispiel für die analoge Signalisierung besteht beim Thermometer, Bild 1/19. Mit wechselnder Temperatur steigt oder sinkt die Flüssigkeitssäule des Thermometers. Die Höhe der Temperatur findet ihre Analogie in der Länge der Flüssigkeitssäule. Diese wiederum verursacht einen entsprechenden optischen Reiz beim Betrachter.

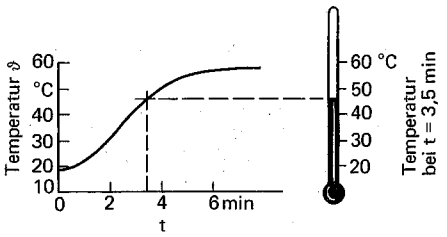


Bild 1/19. Das Thermometer als Beispiel der analogen Signalisierung.

Das Prinzip der analogen Signalisierung in allgemeiner Form

Bild 1/20 zeigt die Zuordnung der Signalgröße *S* zu der zu signalisierenden Größe *X* am Beispiel der Kennlinie einer (angenommenen) Meßeinrichtung. Die Signalgröße *S* ist dabei das physikalische Analogon der Meßgröße *X*. In Bild 1/21 ist der Verlauf der Signalgröße *S* in zeitlicher Zuordnung zu einem angenommenen Verlauf der zu signalisierenden Größe *X* wiedergegeben.

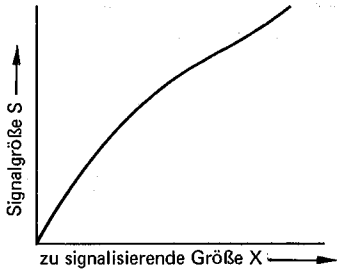


Bild 1/20. Bei der analogen Signalisierung ist die Signalgröße *S* das physikalische Analogon der Meßgröße *X*.

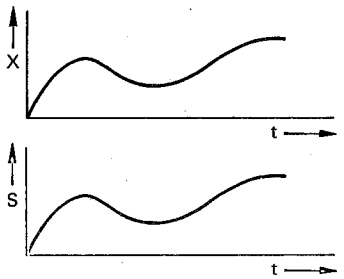


Bild 1/21. Bei zeitlicher Veränderung der Meßgröße *X* verändert sich die Signalgröße *S* analog.

Das Prinzip der digitalen Signalisierung

In der Digitaltechnik wird so gut wie ausschließlich mit binären Signalen gearbeitet.

Das binäre Signal kann – wie der Name sagt – nur zwei verschiedene Werte (O und L) annehmen, Bild 1/22. So sind z. B. diese beiden Werte des binären Signals „elektrische Spannung" dadurch gekennzeichnet, daß man zwischen „Spannung vorhanden" und „Spannung nicht vorhanden" unterscheidet. Da insgesamt nur zwei verschiedene Zustände voneinander zu unterscheiden sind, eignen sich binäre Signale hervorragend zur sicheren Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Informationen. Ein narrensichereres Prinzip als dieses „Ja/Nein-Verfahren" gibt es nicht.

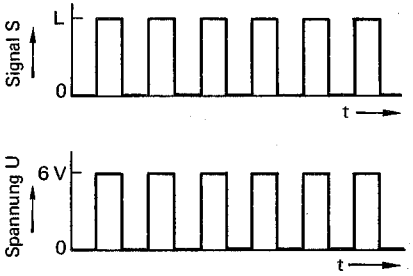


Bild 1/22. Binäre Signale.

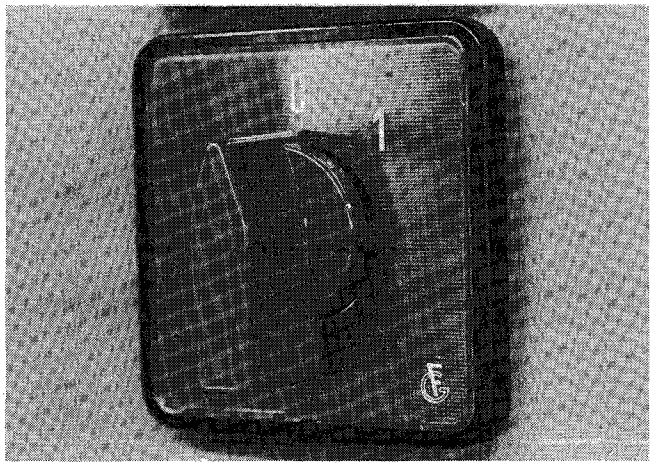


Bild 1/23. Der industrielle Schalter ist ein binärer Signalgeber.

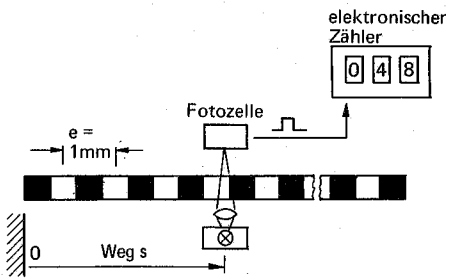


Bild 1/24. Digitale Weg-Signalisierung nach dem „Abzählverfahren".

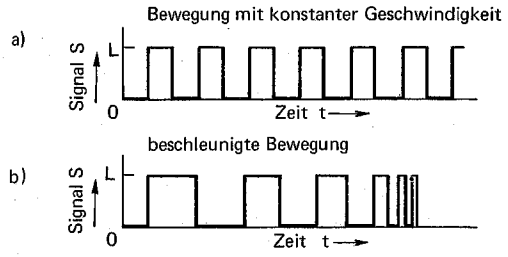


Bild 1/25. Bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind die zeitlichen Längen der binären Signale verschieden lang. Die Signale selbst behalten ihren binären Charakter.

Den binären Signalen kommt in der Technik auch noch aus einem anderen Grunde besondere Bedeutung zu. Sie sind in Steuerungsanlagen häufig bereits von der Anlage her gegeben, Bild 1/23. So unterscheidet man bei Schalterstellungen in der Regel nur die zwei Positionen „Schalter ein" und „Schalter aus". Die konventionelle Steuerungstechnik hat also immer schon mit binären Signalen gearbeitet.

Um eine Meßgröße digital signalisieren zu können, müssen binäre Signale gebildet werden. Betrachten wir dies wieder am Beispiel der Positionssignalisierung eines Maschinenteils, Bild 1/24.

In der einfachsten Form der digitalen Wegsignalisierung unterteilt man den Weg entsprechend einer Grundeinheit „*e*" in gleich große Teilabschnitte, z. B. in „mm". Tastet man diese gekennzeichneten Teilabschnitte mit Hilfe einer optoelektronischen Einrichtung, z. B. mit einer Fotozelle, ab, so gewinnt man pro Grundeinheit „*e*" einen elektrischen Impuls und hierdurch ein binäres Signal. Diese binären Signale können dann von einem elektronischen Zähler – je nach Bewegungsrichtung des Maschinenteils – zu einem bereits vorhandenen Zählerzustand addiert oder von ihm subtrahiert werden. Der Zähler gibt somit die Position des Maschinenteils in digitaler Form an. Die Anzeigegenauigkeit liegt bei $\pm$ einer Einheit, da ja nur voll überschrittene Einheiten ausgewertet werden können.

Bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Maschinenteils sind die zeitlichen Längen der binären Signale unterschiedlich. Dies ist kein Widerspruch zur digitalen Signalisierung der Meßgröße, Bild 1/25.

Übung 1/3 ?

Worin unterscheiden sich analoge Signale von binären Signalen?

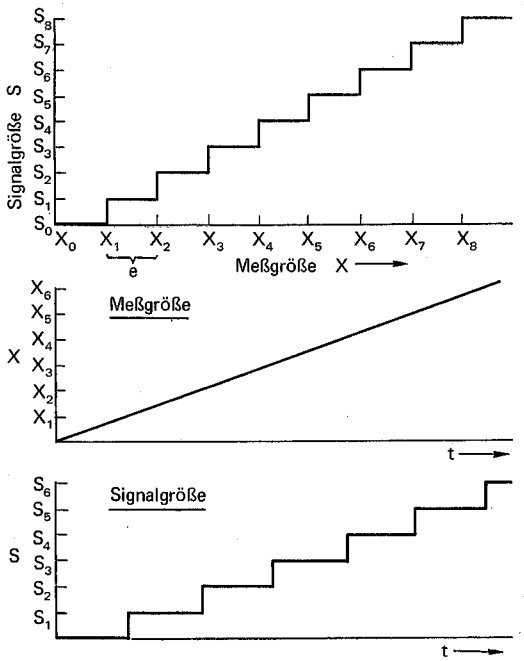


Bild 1/26. Bei der digitalen Signalisierung wird die Meßgröße *X* entsprechend einer Grundeinheit e quantisiert.

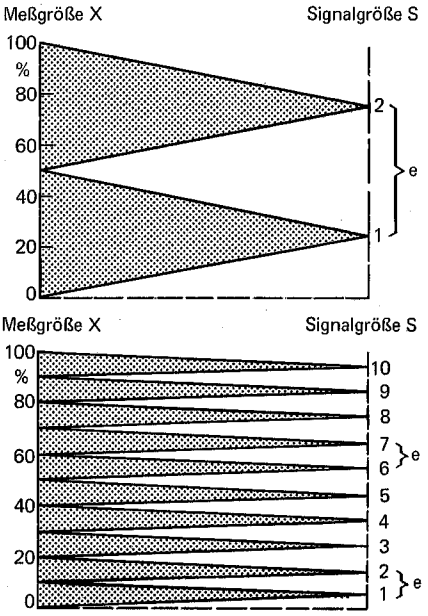


Bild 1/27. Über die Verkleinerung der Grundeinheit e kann die Auflösung der Signalisierung erhöht werden.

Das Prinzip der digitalen Signalisierung in allgemeiner Form

Bei der digitalen Signalisierung wird die Meßgröße *X* entsprechend einer Grundeinheit „*e*" quantisiert, Bild 1/26 (oben) und Bild 1/27. Dabei wird dem kontinuierlichen Verlauf der zu signalisierenden Größe ein gleichwertiger, stufenförmiger Verlauf der Signalgröße zugeordnet.

Da hinter jeder Stufung, hinter jeder Quantisierung letztlich das Prinzip des Abzählens kleiner Schritte steht, so repräsentiert das Signal *S* den Meßwert *X* als zahlenmäßige Information. Bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit der digitalen Signalisierung ist zu beachten, daß die Auflösung der digitalen Abbildung der Meßgröße niemals feiner als der Betrag der Grundeinheit „*e*" ist. Über die Verkleinerung der Grundeinheit „*e*" kann die Auflösung der Signalisierung erhöht werden. Dies wird in Bild 1/27 deutlichgemacht.

Das binäre Signal: eine Sonderform der diskreten Signale

Im Prinzip wäre es durchaus möglich, vorgegebene Meßgrößen auch mit anderen als mit binären Signalen digital zu signalisieren. Das binäre Signal ist eine Sonderform der sog. diskreten Signale. Während analoge Signale dadurch gekennzeichnet sind, daß sie innerhalb technischer Grenzen beliebige Zwischenwerte annehmen können, ist für die Gruppe der diskreten Signale typisch, daß ihnen nur vorgegebene, gestufte Werte zugeordnet werden können.

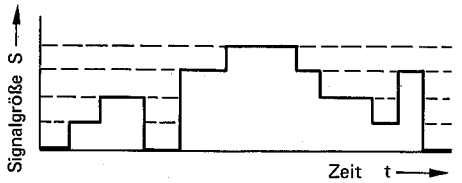


Bild 1/28. Prinzip der diskreten Signalisierung: hier mit fünf unterschiedlichen Signalwerten.

Bild 1/28 zeigt ein diskretes Signal, bei dem bis zu fünf verschiedene Werte auftreten. Da in der Digitaltechnik wegen der wirtschaftlichen und sicheren Verarbeitung, Übertragung und Speicherung vorzugsweise binäre Signale Verwendung finden, soll auf andere Arten diskreter Signale nicht näher eingegangen werden.

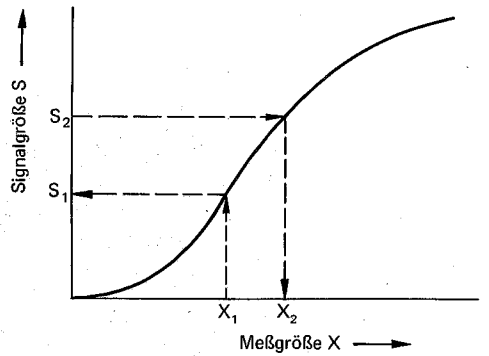


Bild 1/29. Theoretisch kann bei der analogen Signalisierung jedem Betrag der Meßgröße *X* ein bestimmter Signalwert *S* zugeordnet werden.

Binäre Signale – digitale Signale

Digitale Signale sind nicht automatisch auch binäre Signale, und umgekehrt. Digitale Signale sind solche diskreten Signale, bei denen die einzelnen Signalwerte untereinander in einem Zusammenhang stehen, der durch ein vorgegebenes Zahlensystem oder aber auch durch ein vorgegebenes Alphabet gegeben ist. Unter dieser Voraussetzung sind denn auch die binären Signale als digitale Signale zu betrachten. In der Digitaltechnik werden letztlich alle Zahlenwerte, alle Buchstaben mit Hilfe binärer Signale übertragen, gespeichert und verarbeitet. Näheres hierzu erfahren Sie in den Abschnitten „Über das Zahlensystem des Digitaltechnikers" (S. 18) und „Codes: Systeme der Verständigung" (S. 24).

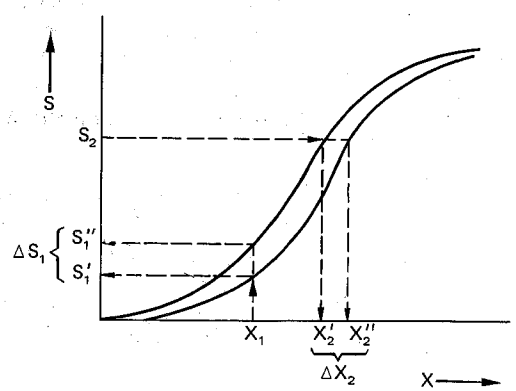


Bild 1/30. In der Praxis hat man bei der analogen Signalisierung einen „Kennlinienschlauch" zu berücksichtigen (Hysterese).

Die Vorzüge der digitalen Signalisierung

Der digitalen Signalisierung von Meßgrößen wird der Vorzug vor der analogen Signalisierung gegeben. Dies ist nicht so ohne weiteres einzusehen, kann doch bei der analogen Signalisierung jedem Betrag der Meßgröße *X* ein ganz bestimmter Signalwert *S* zugeordnet werden, Bild 1/29. Somit erscheint auf den ersten Blick diese funktionelle Zuordnung eine unbegrenzte Genauigkeit zu erlauben.

In der Praxis sind die Verhältnisse nicht ganz so einfach. Jede technisch realisierte Kennlinie eines Gerätes oder Bauelements ist in Wirklichkeit mit einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Hysterese behaftet. So kann es denn bei der analogen Signalisierung der Maschinenteilposition je nach Bewegungsrichtung des Schleifers für ein und dieselbe Meßgröße *X* zu zwei – wenn auch geringfügig – unterschiedlichen Signalwerten *S* kommen.

Zu dem Problem der Hysterese kommen die Probleme von Abnutzungs- bzw. Alterungserscheinungen der konstruktiven Elemente und Bauteile. Nimmt man noch die durch äußere Einflüsse (z.B. Temperatur) bewirkten Schwankungen der Bauelementedaten hinzu, so bekommt man eine Vorstellung davon, wie wenig das funktionelle Verhalten einer Meßeinrichtung durch eine Kennlinie beschrieben werden kann.

Aus den genannten Gründen muß in der Praxis der analogen Meßtechnik – oder allgemein bei der analogen Signalisierung – statt einer einzelnen Kennlinie ein sog. „Kennlinienschlauch" angenommen werden, Bild 1/30. In diesem Kennlinienschlauch werden alle zu erwartenden Unsicherheiten, die sich bei der Zuordnung von Signalgröße und Meßgröße ergeben, aufgefangen.

Nun erscheint die Frage nach der erreichbaren Genauigkeit der analogen Signalisierung in einem neuen Licht. Wie Bild 1/30 zeigt, ist durch den Verlauf des Kennlinienschlauchs nunmehr keine punktweise Zuordnung zwischen den Werten der zu signalisierenden Größe und denen der Signalgröße möglich.

So gehört z.B. zu dem Wert X_1 der zu signalisierenden Größe ein um $\Delta S_1 = S_1'' - S_1'$ unsicherer Wert der Signalgröße.

Andererseits kann man von einem Wert S_2 der Signalgröße nur auf einen um ΔX_2 unsicheren Wert der Meßgröße schließen.

Bei der digitalen Signalisierung spielen die Veränderungen der Bauelemente wie auch die Hysteresevorgänge im Gegensatz zur analogen Signalisierung keine Rolle. Da bei der digitalen Signalisierung ausschließlich mit binären Signalen gearbeitet wird, bei denen die Signalwerte sich sehr deutlich voneinander unterscheiden, wirkt sich die Veränderung des Arbeitspunktes an der Schaltung nicht auf die binären Signalwerte aus.

Die Vorzüge der Digitaltechnik

In diesem ersten Kapitel sollten die Vorzüge der Digitaltechnik gegenüber der Analogtechnik herausgestellt und nachgewiesen werden. Beide technischen Disziplinen bieten prinzipiell gleiche Möglichkeiten: Beide technischen Systeme dienen der Lösung von Problemen aus dem Bereich der allgemeinen Automatisierungstechnik, die umfassend betrachtet auch die Probleme der Nachrichtentechnik zum Inhalt haben. Dies wird in den beiden nachfolgenden Versuchen einer Begriffsbestimmung für „Analogtechnik" bzw. „Digitaltechnik" noch einmal deutlich.

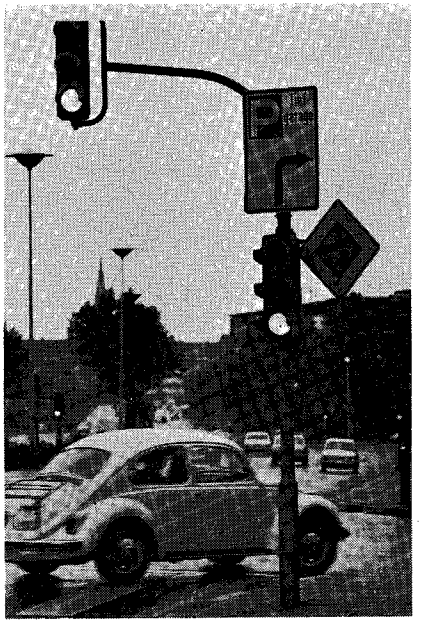


Bild 1/31. Ampelanlage: Digitaltechnik im Alltag.

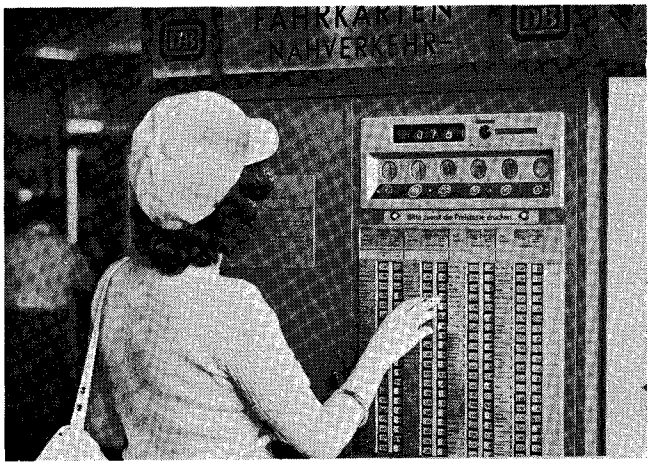


Bild 1/32. Fahrkarten-Automat: Der Fahrgast wählt das Fahrtziel, der Automat bestimmt den Fahrpreis und gibt das Wechselgeld heraus.

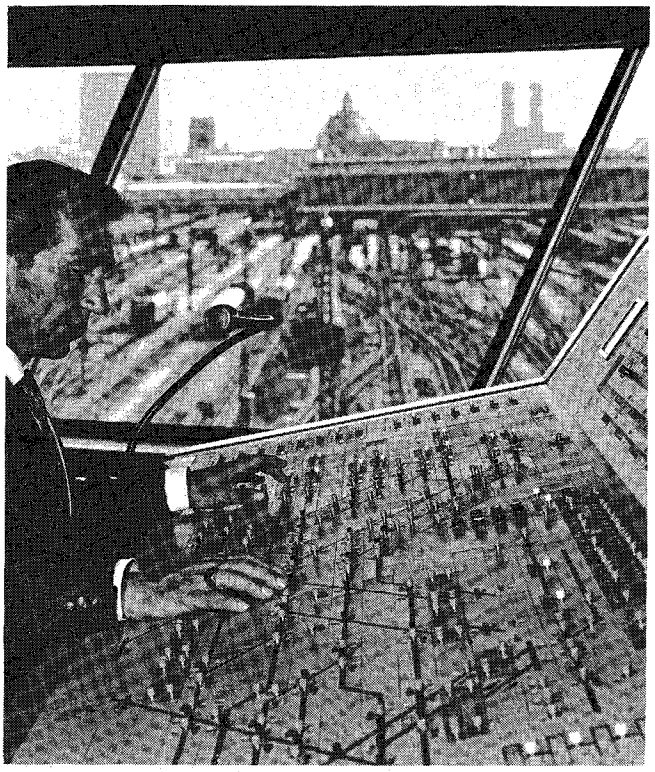


Bild 1/33. Vom Zentralstellwerk München-Hbf aus werden täglich etwa 1000 Züge und 500 Rangierfahrten sicher durch das Gleisgewirr geleitet.

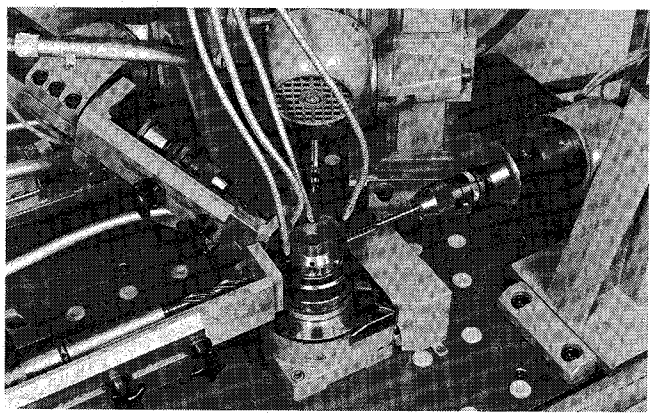


Bild 1/34. Bei diesem Bearbeitungsautomaten werden die einzelnen Arbeitsgänge digital gesteuert.

Analogtechnik*):

„Die Analogtechnik umfaßt den Bereich der Automatisierungstechnik, der sich mit dem Entwurf und Aufbau solcher Teile von Steuerungen und Regelungen befaßt, in denen die Informationsübertragung und die Informationsverarbeitung mit Hilfe analoger Signale geschieht."

Digitaltechnik*):

„Die Digitaltechnik umfaßt den Bereich der Automatisierungstechnik, der sich mit dem Entwurf und Aufbau solcher Teile von Steuerungen und Regelungen befaßt, in denen die Informationsübertragung und die Informationsverarbeitung mit Hilfe digitaler Signale geschieht."

Analogtechnik und Digitaltechnik unterscheiden sich jedoch eindeutig in der Art der verwendeten Signale, in der Art der Darstellung und in der Art der Signalisierung von Meßgrößen.

Die Vorzüge der digitalen Darstellung gegenüber der analogen, der digitalen Signalisierung gegenüber der analogen und der digitalen (binären) Signale gegenüber den analogen führen dazu, daß die Digitaltechnik in allen technischen Bereichen immer mehr an Bedeutung gewinnt.

Dieser Trend ist nicht nur das Ergebnis der Einsicht in die Vorteile der Digitaltechnik, sondern vielmehr auch eine Folge der technologischen Entwicklung auf dem Bauelementesektor. Durch die Raumfahrt- und die Computertechnik ausgelöst, wurden integrierte Schaltungen entwickelt, die den Durchbruch der digitalen Methoden auf breiter Front ermöglichten.

Alle in der Digitaltechnik verwendeten Bauelemente arbeiten mit binären Signalen, gleichgültig, ob es sich um logische Verknüpfungsglieder oder Datenspeicher, um Zeitstufen oder um Registereinheiten handelt. In Form binärer Signale werden Daten von Magnetbändern und Lochkarten abgerufen. Dabei steckt die Information bei den Lochkarten in den Zuständen „Loch" oder „kein Loch", bei den Magnetbändern in den Zuständen „Bandstelle magnetisiert" oder „Bandstelle nicht magnetisiert".

*) *Klaus, G.*, Wörterbuch der Kybernetik. Frankfurt (Main): Fischer-Verl. 1969.

Da in der Digitaltechnik zur Informationsübertragung, -speicherung und -verarbeitung nur binäre Signale verwendet werden, müssen in der Konsequenz hieraus letztlich alle Informationen in eben diesen binären Signalen ausgedrückt werden.

Zum allgemeinen und unmißverständlichen Informationsaustausch hat man, z.B. im Fernschreibverkehr, bestimmte Zuordnungssysteme – sog. Codes – geschaffen.

Bei diesen Codes werden alle Buchstaben, Ziffern, Satzzeichen und evtl. Operationsbefehle von nur zwei verschiedenen Zeichen – 0 und L – ausgedrückt. Diese Zeichen werden dann bei der Übertragung, Verarbeitung und Speicherung durch binäre Signale dargestellt. Über die in der Digitaltechnik verwendeten Prinzipien der Codierung und der Zahlensysteme ist in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels Näheres gesagt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Vorzüge der Digitaltechnik besonders in den Bereichen der Datenübertragung, der Datenspeicherung und der Verarbeitung großer Datenmengen liegen. Hierbei zeichnen sich die digitaltechnischen Systeme durch große Arbeitsgeschwindigkeiten und eine hohe Störsicherheit aus.

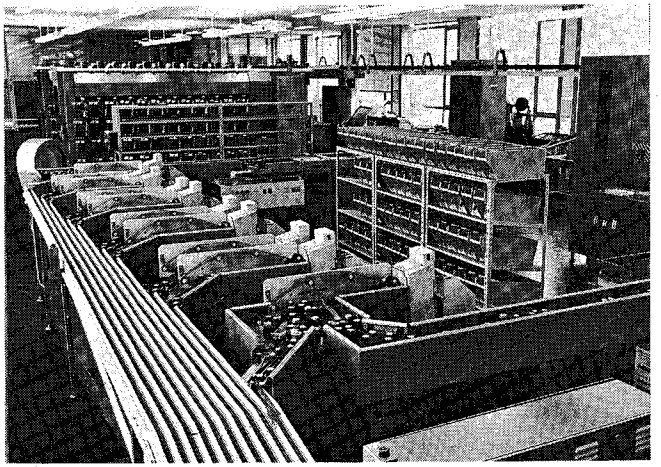


Bild 1/35. Digital arbeitende Briefsortieranlage – ein Beitrag zur Rationalisierung der Deutschen Bundespost.

Digitaltechnik überall

Es gibt heute kaum einen Bereich in Technik, Wissenschaft, Handel und Verwaltung, der nicht irgendwie mit der Digitaltechnik in Berührung kommt. Eine umfassende Darstellung aller z. Z. bereits gebräuchlichen und in naher Zukunft möglichen Anwendungsfälle digitaltechnischer Methoden und Geräte ist im Rahmen dieses Buches nicht möglich. In Ergänzung zu den an anderen Stellen im Buch aufgeführten Beispielen mögen Bild 1/31 bis 1/46 eine Vorstellung davon geben, wie breit gestreut die Einsatzgebiete der Digitaltechnik heute bereits sind.

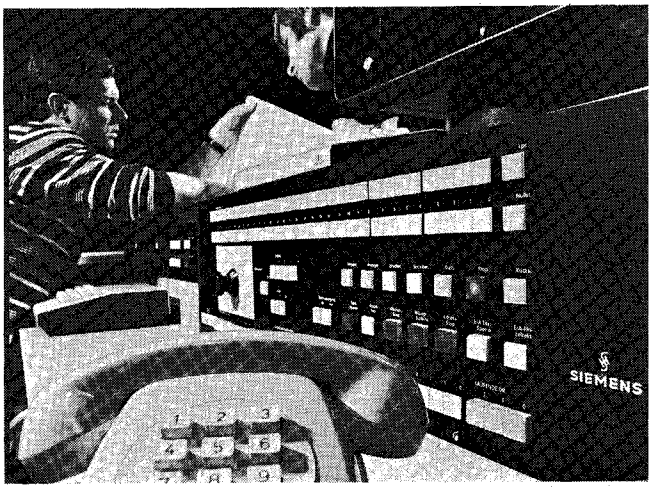


Bild 1/36. Die Einführung elektronischer Wählsysteme bringt wesentliche Vorteile für den Fernsprechteilnehmer. In Zukunft wird der Aufbau einer Fernsprechverbindung von einem Prozeßrechner gesteuert. Das Bild zeigt den Bedienungsplatz für ein Zentralsteuerwerk in einer Vermittlungsstelle.

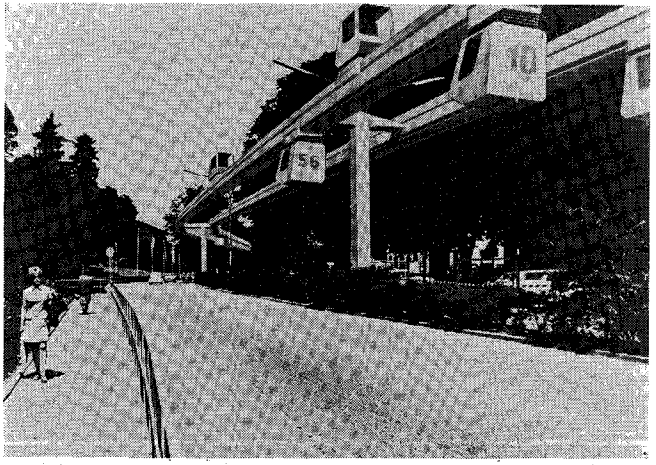


Bild 1/37. Kabinen-Taxi (Fotomontage eines Zukunftsprojektes): Der Fahrgast wird nach Vorgabe des Fahrziels ohne Zwischenhalt dorthin gesteuert.

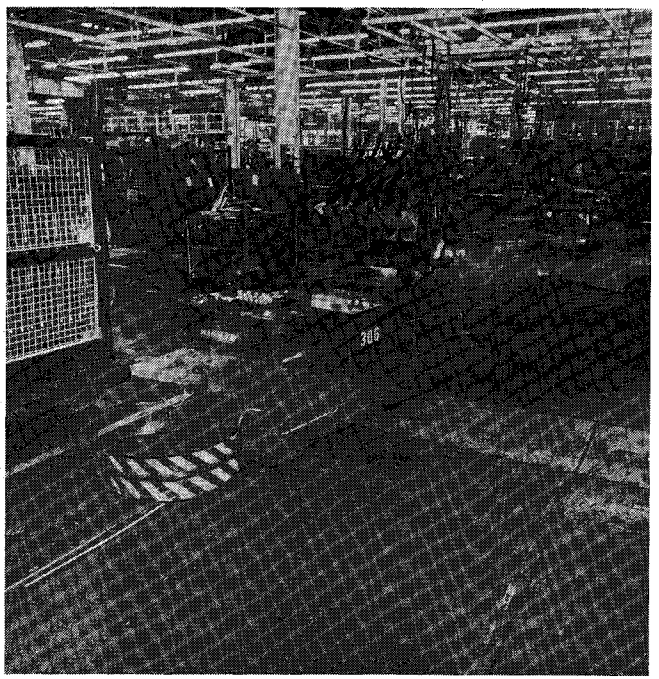


Bild 1/38. „Geisterzug" in einem Automobilwerk. Ein digitaltechnischer Beitrag zur Automation.

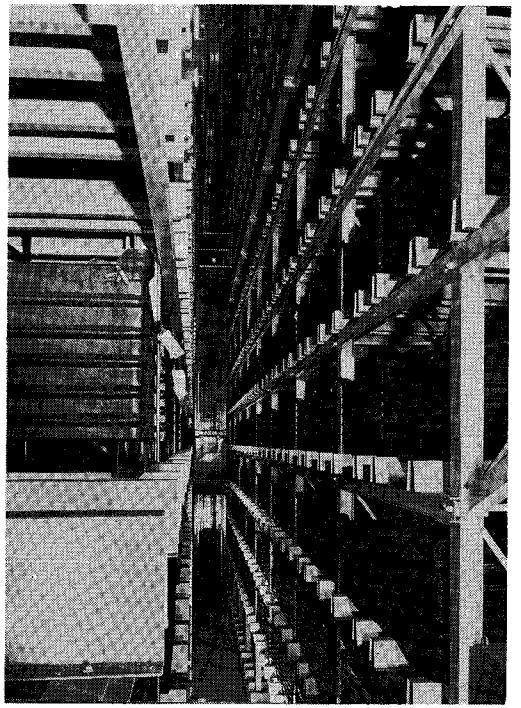


Bild 1/39. Digital gesteuerte Hochregallager erlauben eine rationelle Lagerhaltung und Produktionsbeschickung.

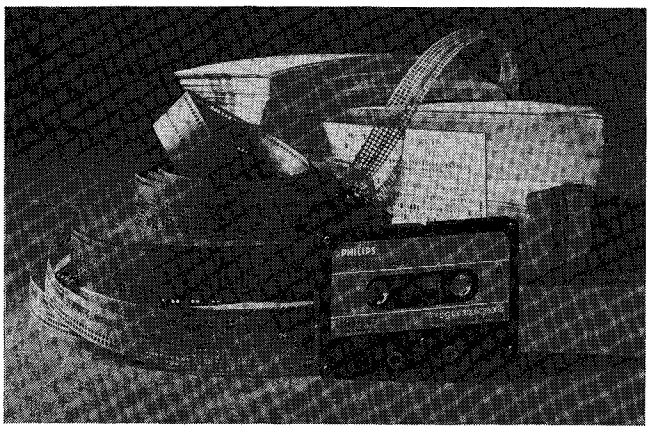


Bild 1/40. Moderne digitale Datenträger: Lochstreifen, Lochkarte und Magnetband.

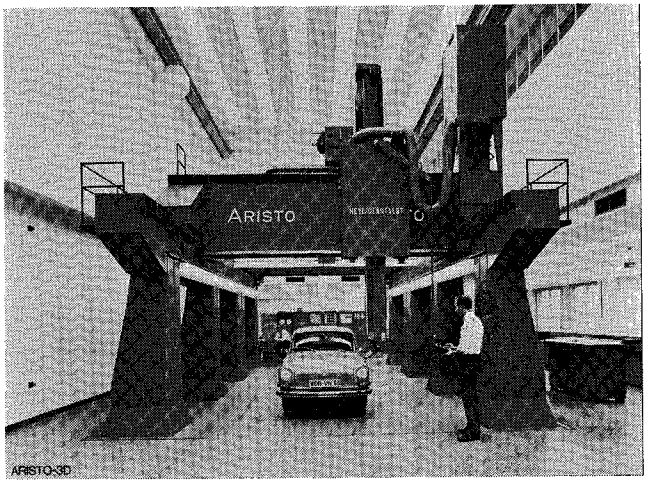


Bild 1/41. 3D-Abtasteinrichtung zur Aufnahme der geometrischen Daten dreidimensionaler Körper. Die abgetasteten *X*-, *Y*-, *Z*-Koordinatenwerte z.B. des Kotflügels werden digital gespeichert.

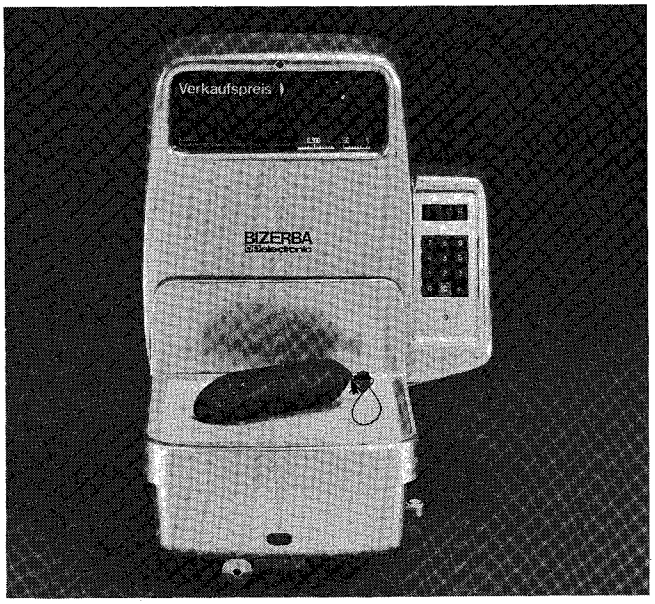


Bild 1/42. Digital-Waage mit digitalelektronischer Preisbestimmung.

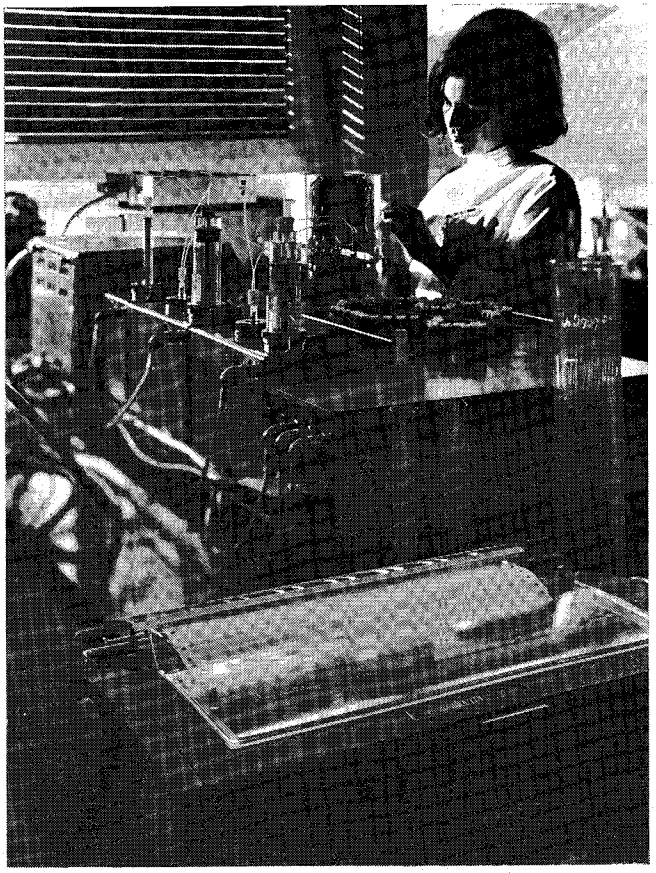


Bild 1/43. Digitaltechnik in der Medizin. Im Mittelpunkt von Diagnostik-Informationssystemen stehen heute Prozeßrechneranlagen. Im Vordergrund ein Drucker, über den der Rechner die Testergebnisse an Ort und Stelle mitteilt.

Übung 1/4 ?

Ordnen Sie folgende technische Einrichtungen oder Verfahren nach den Kriterien „Analogtechnik" und „Digitaltechnik".

a) Fernschreiber.
b) Fernsprecher: Informationsübertragung.
c) Fernsprecher: Teilnehmerwahl.
d) Aufzugsteuerung.
e) Rundfunkübertragung.
f) Bundesbahnsignaleinrichtung.

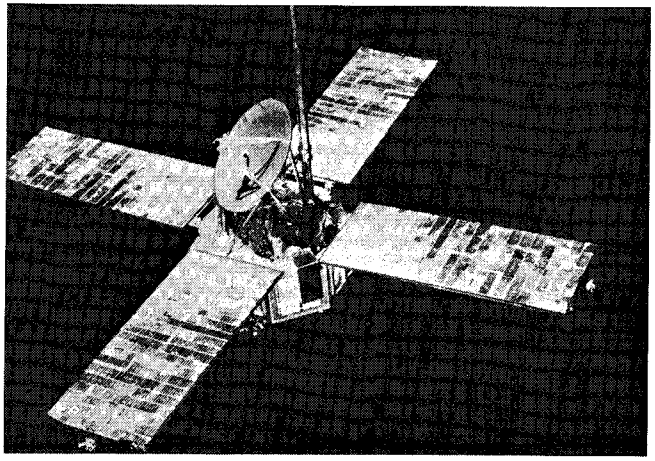


Bild 1/44. Mars-Sonde vom Typ „Mariner": Erstmals im Juli 1965 übermittelte eine Sonde dieses Typs Fernsehbilder über eine Entfernung von 220 Millionen Kilometer. Jedes einzelne Fernsehbild entstand aus 40 000 Bildpunkten, die digital übertragen wurden.

Bild 1/45. Computerunterstützter Verkehrsunterricht.

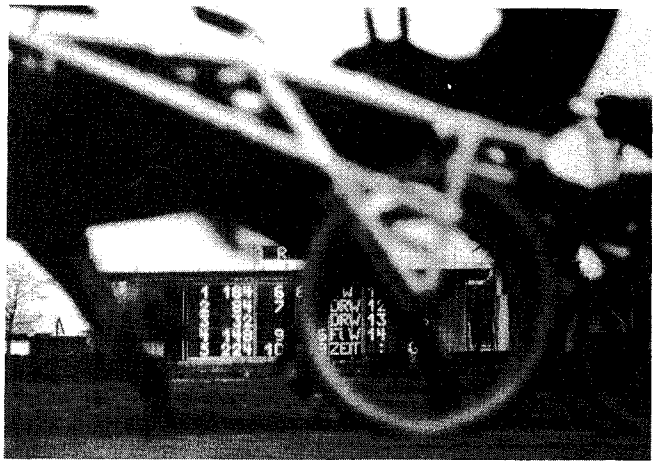


Bild 1/46. Computergesteuerte Ergebnisanzeige auf der Trabrennbahn Daglfing.

Hinweis: Die folgenden Abschnitte können bei der Erarbeitung des weiteren Stoffes zunächst zurückgestellt werden.

Über das Zahlensystem des Digitaltechnikers

Vom Zählen zum Zahlensystem

Die Digitaltechnik ist die Technik der kleinen Schritte. Dies wurde bei der digitalen Signalisierung der Maschinenteilposition (S. 10) besonders deutlich.

Bei dieser Art der Wegsignalisierung wird die gesamte vom Maschinenteil zu überschreitende Wegstrecke entsprechend einer Grundeinheit e in viele gleich große Teilabschnitte eingeteilt, Bild 1/47. Bei der Bewegung des Maschinenteils wird der von ihm durchlaufene Weg s Schritt für Schritt abgetastet. Für jede voll überschrittene Grundeinheit e wird ein Impuls abgegeben. Diese Impulse werden in einem Digitalzähler gezählt und ziffernmäßig angezeigt.

Dieser für die Digitaltechnik typische Vorgang des Abzählens von Impulsen entspricht im Prinzip einer der grundlegendsten geistigen Leistungen des Menschen. Er entspricht der Fähigkeit des Menschen, Dinge oder Vorgänge zählend zu erfassen und zu ordnen.

Für die meisten Menschen unserer Zeit erscheint das beim Zählen üblicherweise angewandte dezimale Zahlensystem von Natur aus vorgegeben zu sein. Es wird selten noch als eine Erfindung des Menschen gesehen. Dies zu durchschauen heißt, sich mit den Problemen des Zählens und der Zahlensysteme auseinanderzusetzen. Unterzieht man sich jedoch der Mühe, so werden auch die Struktur und die Notwendigkeit anderer Zahlensysteme verständlich.

Von den ersten Anfängen des Zählens und des Ordnens bis zu unserem, den Alltag beherrschenden dezimalen Zahlensystem war es ein langer Weg. Die Erfindung des Dezimalsystems muß man aus der heutigen Sicht als geniale Leistung bezeichnen. Um hiervon eine Vorstellung zu bekommen, wollen wir uns kurz mit der allgemeinen Problematik des Zählens auseinandersetzen. Dabei werden wir so nebenbei auch verstehen, daß andere Zahlensysteme genauso natürlich sind wie das dezimale.

Nehmen wir an, der vorgeschichtliche Mensch habe Feuersteine produziert und sie zum Tausch angeboten. Um dieses Geschäft bewältigen zu können, mußte er Symbole erfinden (und mit anderen Menschen vereinbaren!), die jeweils die Anzahl der Tauschobjekte oder deren Wert repräsentierten. Dies mag ursprünglich so ausgesehen haben, wie es Bild 1/48 zeigt. Dieses Strichlistenverfahren ist heute noch gebräuchlich (Bierdeckel, Verkehrszählung!).

Mit der wachsenden Anzahl der zu zählenden Elemente nimmt bei diesem System natürlich auch die Anzahl des wiederkehrenden gleichen Symbols zu. Bei großen Stückzahlen wird das Ganze bald nicht mehr überschaubar.

Bild 1/49 zeigt eine andere denkbare Möglichkeit der Darstellung von Zählergebnissen. Für jede bestimmte Anhäufung von abzuzählenden Elementen wird ein der Anzahl entsprechendes Symbol gesetzt. Das Problem hierbei: Mit größer werdender Anzahl der Elemente ist irgendwann einmal der Vorrat an Symbolen erschöpft. Darüber hinaus führt die Vielfalt der Symbole unvermeidlich zu Verwirrungen und zu Mißverständnissen.

Im Laufe der Entwicklungsgeschichte sind denn wohl die ersten Schritte der Vereinfachungen und der Leistungssteigerung der „Zählsysteme" entstanden. Dabei wurde der Symbolvorrat auf wenige verschiedene Symbole beschränkt, Bild 1/50. Um aber große Elementansammlungen erfassen zu können, mußten die wenigen festgelegten Symbole mehrfach verwendet werden. Je nach Kombination der Symbole ergeben sich verschiedene Zahlenwerte.

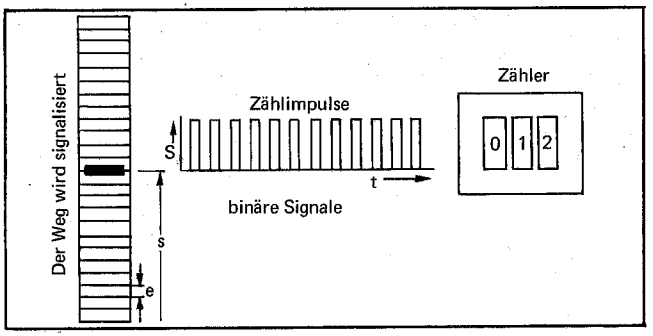


Bild 1/47. Physikalische Größen werden in der Digitaltechnik „abzählbar" gemacht.

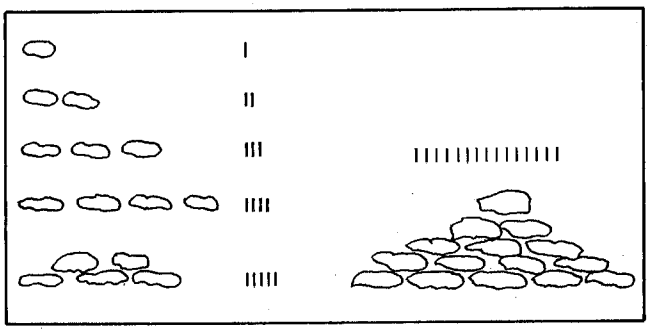


Bild 1/48. Zählen nach dem Strichlisten-Verfahren.

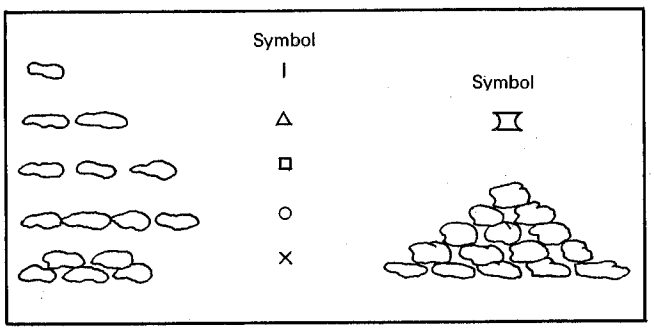


Bild 1/49. Zählen durch Symbol- (Zeichen-) Zuordnung.

1	I	ūnus, a, um	ein
2	II	duo, duae, duo	zwei
3	III	trēs, trēs, tria	drei
4	IV	quattuor	
5	V	quīnque	
6	VI	sex	
7	VII	septem	
8	VIII	octō	
9	IX	novem	
10	X	decem	

Bild 1/50. Römische Zahlen.

Tabelle 1/1. Potenzen auf der Basis 10.

10^6 =	1 000 000	10^{-1} =	0,1
10^5 =	100 000	10^{-2} =	0,01
10^4 =	10 000	10^{-3} =	0,001
10^3 =	1 000	10^{-4} =	0,0001
10^2 =	100	10^{-5} =	0,00001
10^1 =	10	10^{-6} =	0,000001
10^0 =	1		

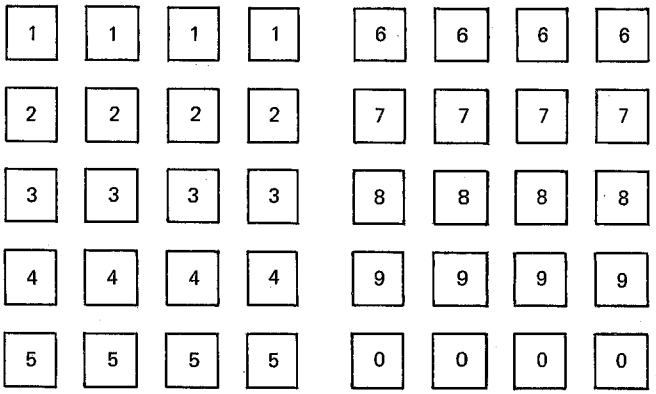


Bild 1/51. Ziffernvorrat des dezimalen Zahlensystems.

(Beachtet sei, daß das dezimale Zahlensystem, in dem wir die alten Systeme interpretieren, ja erst später gefunden wurde!).

Nach einer langen Entwicklungszeit wurde irgendwann das von uns im Alltag verwendete dezimale Zahlensystem geschaffen, das mit zehn verschiedenen Symbolen, die wir Ziffern nennen, auskommt.

Der Aufbau des dezimalen Zahlensystems

Im dezimalen Zahlensystem werden die zehn verschiedenen Ziffern 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 in der sog. Stellenschreibweise eingesetzt.
So ist z. B. die Zahl
$S_{10} = 12408{,}3$
als eine Abkürzung der ausführlichen Summenschreibweise
$S_{10} = 1 \times 10^4 + 2 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1}$
aufzufassen.
Die einzelnen Ziffern der Dezimalzahl werden entsprechend ihren Positionen im Stellensystem mit Gewichten multipliziert, die Potenzen von 10 sind, Tabelle 1/1.
Die Basis dieser Potenzen gibt dem Zahlensystem den Namen: „Zehnersystem" oder „dezimales Zahlensystem".

Im Grunde werden bei diesem dezimalen Zahlensystem die einzelnen Ziffern aus einem Ziffernvorrat ausgewählt, der 10 verschiedene Ziffern umfaßt, Bild 1/51. Diese nach einem vorgegebenen Zahlenwert bestimmten Ziffern werden in eine definierte Stellenanordnung der Zehnerpotenzen eingefügt, Bild 1/52.

Die Positionen der Ziffern innerhalb des Stellensystems bestimmen ihren Zahlenwert. Der Zahlenwert der dargestellten Zahl selbst wird durch Addition aller Stelleninhalte. ermittelt, Bild 1/53 und 1/54.
Im Beispiel
$S_{10} = 12408{,}3$
ergibt sich
$S_{10} = 10000 + 2000 + 400 + 0 + 8 + 0{,}3$
und somit der Zahlenwert S gleich
„zwölftausendvierhundertundachtkommadrei".

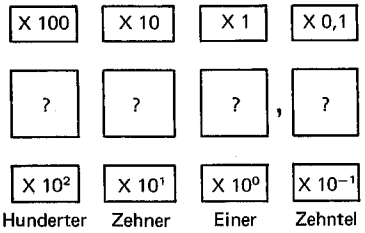


Bild 1/52. Stellenanordnung und Stellenwertigkeit des dezimalen Zahlensystems.

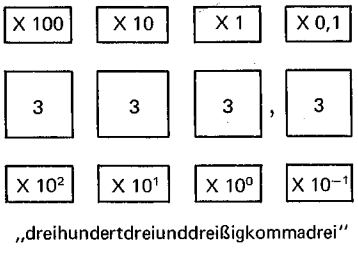


Bild 1/53. Die Dezimalzahl 333,3.

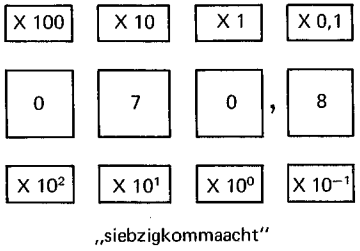


Bild 1/54. Die Dezimalzahl 70,8.

Der Aufbau des dualen Zahlensystems

In der Digitaltechnik wird vorzugsweise das sog. duale Zahlensystem verwendet. Anders als im dezimalen Zahlensystem werden im dualen System nur zwei verschiedene Ziffern unterschieden. Es sind dies die Ziffern 0 und 1. Mit Hilfe dieser beiden Ziffern sind alle Zahlenwerte genauso darstellbar, wie mit den 10 verschiedenen Ziffern des dezimalen Systems.
So ist die Zahl
$S_2 = 101011$
als eine Abkürzung der ausführlichen Summenschreibweise
$S_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
aufzufassen. Sie stellt den Zahlenwert
$S = 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1$
$S =$ „dreiundvierzig"
dar.
Die einzelnen Ziffern der Dualzahl werden entsprechend ihren Positionen im Stellensystem mit Gewichten multipliziert, die Potenzen von 2 sind, Tabelle 1/2. Die Basis dieser Potenzen gibt dem Zahlensystem den Namen: „Duales Zahlensystem".

Tabelle 1/2. Potenzen auf der Basis 2.

2^{12}	=	4096	2^{-1}	=	0,5
2^{11}	=	2048	2^{-2}	=	0,25
2^{10}	=	1024	2^{-3}	=	0,125
2^{9}	=	512	2^{-4}	=	0,0625
2^{8}	=	256	2^{-5}	=	0,03125
2^{7}	=	128	2^{-6}	=	0,015625
2^{6}	=	64	2^{-7}	=	0,0078125
2^{5}	=	32	2^{-8}	=	0,0039062
2^{4}	=	16	2^{-9}	=	0,0019531
2^{3}	=	8	2^{-10}	=	0,0009765
2^{2}	=	4	2^{-11}	=	0,0004882
2^{1}	=	2	2^{-12}	=	0,0002441
2^{0}	=	1			

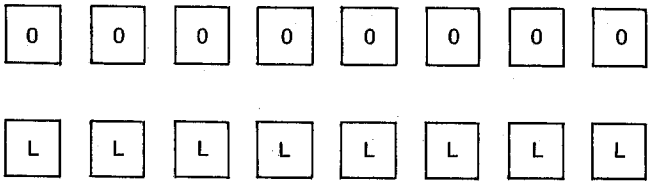


Bild 1/55. Ziffernvorrat des dualen Zahlensystems.

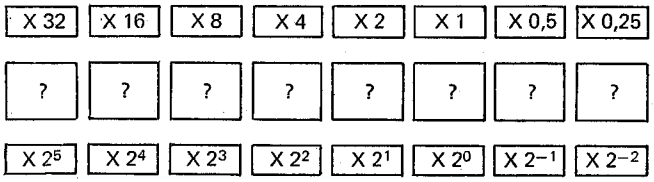


Bild 1/56. Stellenanordnung und Stellenwertigkeit des dualen Zahlensystems.

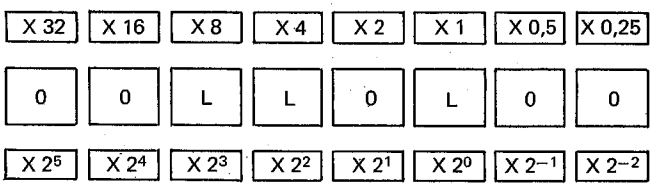


Bild 1/57. Dualzahl: 00LL0L/00.

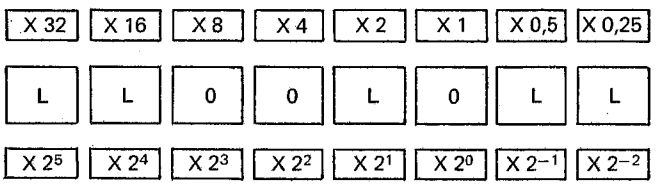


Bild 1/58. Dualzahl: LL00L0/LL.

Im Grunde werden bei diesem dualen Zahlensystem die einzelnen Ziffern aus einem Ziffernvorrat ausgewählt, der 2 verschiedene Ziffern umfaßt, Bild 1/55. Diese nach einem vorgegebenen Zahlenwert bestimmten Ziffern werden in eine definierte Stellenanordnung der Zweierpotenzen eingefügt, Bild 1/56 bis 1/58.

Die Positionen der Ziffern innerhalb des Stellensystems bestimmen ihren Zahlenwert. Der Zahlenwert der dargestellten Zahl selbst wird durch die Addition aller Stelleninhalte ermittelt.

Übung 1/5 ?

Bild 1/57 und 1/58 geben Beispiele der dualen Zahlendarstellungen wieder. Bestimmen Sie die dargestellten Zahlenwerte.

Der Aufbau des dezimalen und des dualen Zahlensystems im Vergleich, Tabelle 1/3

Im dezimalen Zahlensystem kann man pro Dezimalstelle bis zum Neunfachen des Stellenwertes an zu zählenden Elementen erfassen. Ist bei einem Zählvorgang die Kapazität einer Stelle erschöpft, so erfolgt ein Übertrag auf die nächsthöhere Stelle.

Im dualen Zahlensystem kann man pro Dualstelle nur bis zum Einfachen des Stellenwertes an zu zählenden Elementen aufnehmen.

Ist bei einem Zählvorgang die Kapazität einer Dualstelle erschöpft, so erfolgt auch hier ein Übertrag auf die nächsthöhere Stelle.

Dieser Vorgang der Übertragsbildung ist bei der Konzeption von Digitalzählern sehr wichtig. Er wird denn auch in Kapitel 9 entsprechend ausführlich behandelt.

Bei der technischen Realisierung von Zählern, die direkt nach dem Aufbau des dezimalen Zahlensystems arbeiten sollen, sind konstruktive Zählelemente notwendig, von denen jedes 10 verschiedene Zustände annehmen können muß. Solche Zählelemente werden auch denäre Elemente genannt.

Dezimalzähler mit denären Elementen existieren meist in mechanischer Form. Sie sind relativ langsam, ihre Zählkapazität ist stark eingeschränkt.

Tabelle 1/3. Der Aufbau des dezimalen und des dualen Zahlensystems im Vergleich.

Dezimalzahlen				Dualzahlen					
	10^1	10^0		2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
0	0	0	⟷	0	0	0	0	0	0
1	0	1	⟷	0	0	0	0	1	L
2	0	2	⟷	0	0	0	1	0	LO
3	0	3	⟷	0	0	0	1	1	LL
4	0	4	⟷	0	0	1	0	0	LOO
5	0	5	⟷	0	0	1	0	1	LOL
6	0	6	⟷	0	0	1	1	0	LLO
7	0	7	⟷	0	0	1	1	1	LLL
8	0	8	⟷	0	1	0	0	0	LOOO
9	0	9	⟷	0	1	0	0	1	LOOL
10	1	0	⟷	0	1	0	1	0	LOLO
11	1	1	⟷	0	1	0	1	1	LOLL
12	1	2	⟷	0	1	1	0	0	LLOO
13	1	3	⟷	0	1	1	0	1	LLOL
14	1	4	⟷	0	1	1	1	0	LLLO
15	1	5	⟷	0	1	1	1	1	LLLL
16	1	6	⟷	1	0	0	0	0	LOOOO
17	1	7	⟷	1	0	0	0	1	LOOOL
18	1	8	⟷	1	0	0	1	0	LOOLO
19	1	9	⟷	1	0	0	1	1	LOOLL
20	2	0	⟷	1	0	1	0	0	LOLOO
21	2	1	⟷	1	0	1	0	1	LOLOL
22	2	2	⟷	1	0	1	1	0	LOLLO
23	2	3	⟷	1	0	1	1	1	LOLLL
24	2	4	⟷	1	1	0	0	0	LLOOO

Wesentlich schneller arbeiten technische – meist elektronische–Systeme, die mit nur zwei Zuständen auskommen. Die binären Zählelemente elektronischer Zähler arbeiten mit binären Signalen. Dabei stehen die binären Signale O und L stellvertretend für die Dualziffern 0 und 1. Dies ist ein Grund dafür, daß das duale Zahlensystem sich relativ stark in technischen Bereichen durchgesetzt hat. Zur Unterscheidung der Dualziffern von den Dezimalziffern wird häufig in Anlehnung an die technischen Zähler statt 0 und 1 die Bezeichnung O und L gewählt. Über diese Zusammenhänge wird in Kapitel 6, 9 und 10 ausführlich berichtet.

Methoden der Umwandlung von Dezimalzahlen in entsprechende Dualzahlen

In der Praxis der Digitaltechnik kommt es häufig vor, daß man Dezimalzahlen in entsprechende Dualzahlen umzuwandeln hat oder umgekehrt.

Man kann dies mit Hilfe mathematischer Verfahren oder aber, wesentlich bequemer, mit elektronischen Zuordnungsschaltungen erreichen. Selbstverständlich arbeiten auch diese Schaltungen auf der Basis mathematischer Verfahren.

In diesem Kapitel werden wir uns auf die mathematischen Verfahren beschränken. In der Praxis sind im wesentlichen Zahlen interessant, die größer als Eins (> 1) sind. Bei gebrochenen Zahlen geht man zu kleineren Maßstäben über. So läßt sich z. B. die Angabe 50,47 m wie 5047 cm ausdrücken.

Es werden hier zwei Umwandlungsverfahren vorgestellt. Je nach Neigung mag man sich für das eine oder andere entscheiden. Bei der formalen Darstellung der Dualzahlen werden die Ziffern 0 und 1 durch O und L ersetzt.

Erstes Verfahren („Zweierpotenzen subtrahieren"):

Es soll die Dualzahl S_2 zur Dezimalzahl $S_{10} = 71$ ermittelt werden.

Man zieht die Potenzen auf der Basis 2 nach Tabelle 1/2 heran und untersucht, welche höchste Potenz von 2 noch in die Zahl 71 hineinpaßt.

Hier ist es die $2^6 = 64$. Somit steht fest, daß die Dualstelle 2^6 gleich *L* ist.
Weiter rechnet man
$71 - 2^6 = 7$.
Welche nächst kleinere Potenz auf der Basis 2 paßt in den ermittelten Rest? Es ist die $2^2 = 4$. Somit ergibt sich für die Dualstelle 2^2 ebenfalls ein L. Die Dualstellen 2^5, 2^4 und 2^3 sind somit O.
Rest $7 - 4 = 3$.
Der Rest läßt sich in $2 + 1$ aufteilen.
$3 - 2 = 1$.
Somit ergeben sich die Dualstellen 2^1 und 2^0 jeweils mit L.
Wir erhalten die Dualzahl mit
$S_2 = LOOOLLL$.

Zweites Verfahren:

Die vorgegebene Dezimalzahl wird wiederholt durch 2 geteilt. Jede Division ergibt eine Dualziffer, die gleich dem Rest der Operation ist. Der Rest kann 0 oder 1 sein.

In unserem Beispiel:

$S_{10} = 71 \quad \Rightarrow \quad S_2 = ?$

$71 : 2 = 35$ Rest $1 \Rightarrow L \Rightarrow 1 \cdot 2^0$
$35 : 2 = 17$ Rest $1 \Rightarrow L \Rightarrow 1 \cdot 2^1$
$17 : 2 = 8$ Rest $1 \Rightarrow L \Rightarrow 1 \cdot 2^2$
$8 : 2 = 4$ Rest $0 \Rightarrow O \Rightarrow 0 \cdot 2^3$
$4 : 2 = 2$ Rest $0 \Rightarrow O \Rightarrow 0 \cdot 2^4$
$2 : 2 = 1$ Rest $0 \Rightarrow O \Rightarrow 0 \cdot 2^5$
$1 : 2 = 0$ Rest $1 \Rightarrow L \Rightarrow 1 \cdot 2^6$

$S_{10} = 71 \quad \Rightarrow \quad S_2 = LOOOLLL$

Anmerkung:
Da fortlaufend durch 2 geteilt wird, ergibt sich für das Ende der Operation die höchste Potenz auf der Basis 2.
Wir erhalten die Dualzahl mit
$S_2 = LOOOLLL$.

Methoden der Umwandlung von Dualzahlen in entsprechende Dezimalzahlen

Die Umwandlung kann auch hier mit Hilfe mathematischer Verfahren bzw. mit elektronischen Zuordnerschaltungen erfolgen.

Das Umwandlungs-Verfahren macht keine Schwierigkeiten. Man multipliziert die Ziffern der Dualzahl mit ihren Stellenwerten. Anschließend werden die Teilergebnisse addiert und somit die endgültige Dezimalzahl S_{10} bestimmt.

Beispiel:

$S_2 = LL0LLL, 0L$

$S_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

$S = 32 + 16 + 0 + 4 + 2 + 1 + 0 + 0{,}25$

$S_{10} = 55{,}25$

Übung 1/6

1. Worin liegen die besonderen Vorteile der Digitaltechnik?
2. Wieviel Stellen werden benötigt, um den Zahlenwert fünfunddreißig darstellen zu können
   a) im dezimalen Zahlensystem,
   b) im dualen Zahlensystem?
3. Warum kommt dem dualen Zahlensystem in der Technik besondere Bedeutung zu?
4. Wandeln Sie die Dezimalzahl $S_{10} = 23$ in eine entsprechende Dualzahl um.
5. Wandeln Sie die Dualzahl S_2 = LOLLLOO in eine entsprechende Dezimalzahl um.

Codes: „Systeme der Verständigung"

Das Problem der Codierung von Informationen ist uralt und, wie das elementare Zählen, ebenfalls ein Grundproblem der menschlichen Kommunikation. Bereits der frühgeschichtliche Mensch bediente sich zur Übermittlung von Nachrichten eines mit anderen Menschen vereinbarten Symbol- oder Signalvorrats.

我才从华北到这里来住在旅馆里. 每天房钱很贵. 昨天张先生介绍我一所房子, 离这里不远, 就在这条路的东口. 这条路是大路, 买卖不少. 如果住在那里, 离学校不远, 而且买东西也方便. 昨天我和张先生我们去看过了. 房子不错, 房钱也不贵, 我当时就把房钱给了房东.

Bild 1/59. Chinesische Schriftzeichen.

εἶναι μέγεθος χαρακτηριστικὸν διὰ τὸν ἀγωγὸν τοῦτον καὶ καλεῖ ἀγωγοῦ. Ὥστε :

Ἀντίστασις (R) ἑνὸς ἀγωγοῦ καλεῖται τὸ σταθερὸν πηλίκοι ναμικοῦ (U), ἡ ὁποία ἐφαρμόζεται εἰς τὰ ἄκρα τοῦ ἀγωγοῦ, (I) τοῦ ρεύματος, τὸ ὁποῖον διαρρέει τὸν ἀγωγὸν τοῦτον.

ἀντίστασις ἀγωγοῦ : $R = \frac{U}{I}$

Ἡ ἀντίστασις (R) ἑνὸς ἀγωγοῦ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν θερμ γοῦ, τὰς διαστάσεις του καὶ τὸ ὑλικὸν τοῦ ἀγωγοῦ. Ἡ ἀνωτέρω τικῶς ἐξίσωσις ἐκφράζει τὸν ἀκόλουθον **νόμον τοῦ Ohm:**

Ἡ ἔντασις (I) τοῦ ρεύματος, τὸ ὁποῖον διαρρέει ἕνα ἀγωγ πρὸς τὴν διαφορὰν δυναμικοῦ (U), ἡ ὁποία ἐφαρμόζεται εἰς γοῦ, καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογος πρὸς τὴν ἀντίστασιν (R)

Bild 1/60. Griechische Schriftzeichen.

In Form der Sprache wurde die direkte, in Form der Schrift auch die zeitlich versetzte Kommunikation möglich. Daß unsere Sprache und die von uns verwendete Schrift nur eine der vielen möglichen Symbol- oder Signalvereinbarungen darstellen, weiß besonders derjenige zu beurteilen, der die verschiedenen Regionen unseres Erdballs bereist hat, Bild 1/59 bis 1/62.

Wie ist nun ein Zuordnungssystem, ein Code, aufgebaut? Schauen wir uns das am Beispiel der Schrift an!

Es gehört zu den ursprünglichsten Anliegen der menschlichen Gesellschaft, die von der Umwelt vorgegebenen Begriffe und Zusammenhänge zwischen Personen zu übermitteln. Sind diese Personen weit voneinander entfernt, so bedient man sich zu diesem Zweck u. a. der Schriftform. Bei der Schrift handelt es sich um ein System vereinbarter Symbole, die durch geordnete Kombinationen zu Trägern von Nachrichten werden.

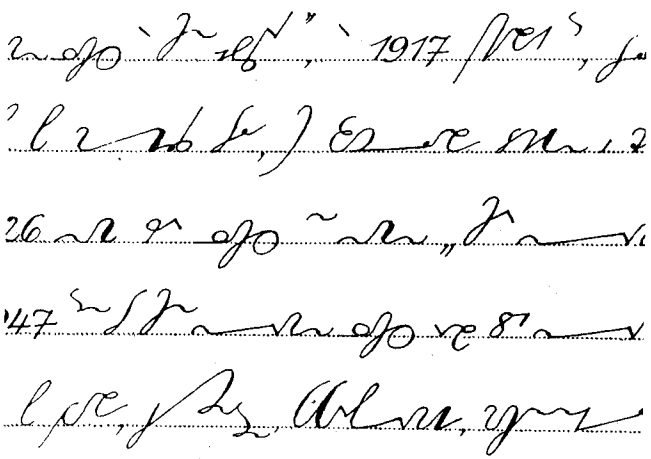


Bild 1/61. Kurzschriftzeichen (Stenographie).

Theoretisch gibt es eine Unzahl von Möglichkeiten der Zuordnung von Symbolen und Begriffen. Zwei extreme Zuordnungsmöglichkeiten (Codierungsmöglichkeiten) seien hier beispielgebend vorgestellt.

Erstes Extrem:

Jedem Begriff (Nachrichtenelement) wird ein eigenes Symbol (Schriftzeichen) zugeordnet. Dieses System finden wir heute noch bei den Chinesen vor, die einen Vorrat von etwa 40000 verschiedenen Schriftzeichen kennen. Zu der recht einfachen Informationsübermittlung einer Tageszeitung benötigt man in China immerhin etwa noch 3500 verschiedene Schriftzeichen. Wer sich mit wissenschaftlichen und literarischen Werken auseinanderzusetzen hat, der muß etwa 8500 Schriftzeichen beherrschen.

Zweites Extrem:

Zur Darstellung aller Nachrichtenelemente werden nur zwei verschiedene Schriftzeichen (z. B. O und L) verwendet. In einem ausgeklügelten System der Kombinationen dieser beiden Zeichen lassen sich alle Begriffe (Nachrichtenelemente) einwandfrei und sicher darstellen.

Diese zweite extreme Art der Codierung findet man in der elektronischen Form der Nachrichtenübermittlung sehr verbreitet verwirklicht. Es liegt in der Natur der elektronischen Systeme, daß sie zwei verschiedene Zeichen (O und L) besonders gut beherrschen (z. B. in der Form „Spannung vorhanden", „Spannung nicht vorhanden").

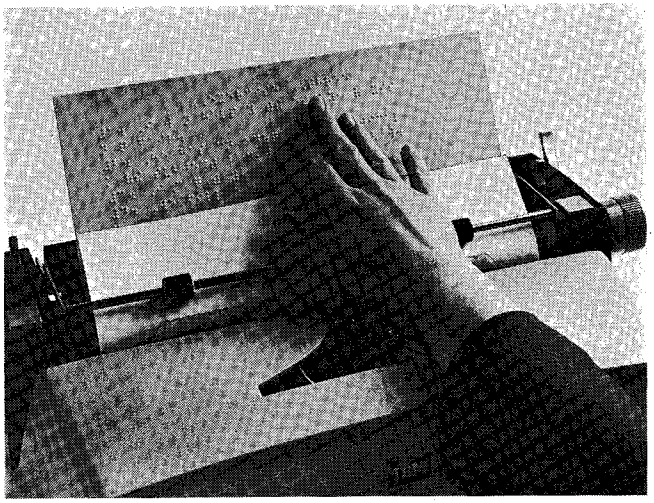


Bild 1/62. Blindenschriftzeichen aus der Schreibmaschine. Die Braille-Schrift ist nach dem 6-Punkt-System aufgebaut und wird mit den Fingerkuppen abgetastet.

Ein Großteil der auf der Welt gebräuchlichen Schriftsysteme liegt bezüglich der Anzahl der verwendeten verschiedenen Schriftzeichen zwischen den beiden beschriebenen Extremen. So besteht das von uns verwendete lateinische Alphabet aus 26 Zeichen, das kyrillische aus 30 Zeichen und das arabische aus 54 Zeichen.

Wie kann man nun mit wenigen (z. B. 26) verschiedenen Schriftzeichen so außergewöhnlich viele Begriffe darstellen?

Dies geschieht durch Kombinationen der zur Verfügung stehenden wenigen Zeichen, wobei der Anordnung der Zeichen untereinander eine außerordentlich große Bedeutung zukommt.

Ein Beispiel:
OTTO
TOTO

Beide Schriftzeichenanordnungen (Worte) unterscheiden sich bezüglich der verwendeten Zeichen nicht und doch geben sie zwei völlig verschiedene Begriffe wieder. (Aus dem räumlichen Nebeneinander in der Schrift machen wir ein zeitliches Nacheinander in der Sprache.)

Zwischen der Anzahl der zur Verfügung stehenden Zeichen und der sich durch ihre Kombinationen ergebenden Wortlängen besteht eine beachtenswerte Gesetzmäßigkeit.

Je weniger verschiedene Zeichen das Schriftsystem (Alphabet) hat, um so länger werden die einzelnen Wörter, wenn man denselben Begriff ausdrücken will.

Codierungsgesichtspunkte in der Digitaltechnik

Moderne elektronische Informationsverarbeitungssysteme arbeiten vorzugsweise mit binären Signalen und mit Speicherelementen, die Informationen in Form binärer Signale aufnehmen und bei Bedarf wieder bereitstellen können. Aus diesem Grunde ist denn auch der Symbolvorrat der in der Digitaltechnik verwendeten Codes mit den Zeichen L und O festgelegt.

Nimmt man nun an, daß durch diese Symbolbeschränkung auf die beiden Binärzeichen die Codierungsprobleme der Digitaltechnik überschaubar werden, so muß man sich leider durch die Praxis eines anderen belehren lassen. Die Begründung dafür liegt darin, daß sich mit den Zeichenelementen O und *L* außerordentlich viele verschiedene Zuordnungssysteme (Codes) z. B. für Zahlen aufbauen lassen. Die nachfolgenden Seiten werden hiervon einen, wenn auch nur begrenzten Eindruck vermitteln können.

Es stellt sich nun die Frage, warum in der Digitaltechnik eine solche Vielfalt an Codes verwendet wird und warum man sich nicht auf ein einziges leistungsfähiges Zuordnungssystem beschränkt!

Die Antwort darauf kann hier nur pauschal und ohne mathematische Beweisführung gegeben werden. In der Praxis der Digitaltechnik sind außerordentlich unterschiedliche Probleme zu lösen. Einmal muß hier gerechnet werden, zum anderen Mal muß gemessen werden. Weiter müssen Informationen übertragen werden usw.

Je nach Problemstellung muß eine Aufgabe vorzugsweise besonders sicher oder aber von der Anlage- und Betriebskostenseite her besonders preiswert gelöst werden.

Leider lassen sich nicht alle genannten Forderungen in einem einzigen Codesystem realisieren. Ein Code, der sich vorzüglich zum Rechnen eignet, kann in der Regel für die kontrollierte Informationsübertragung nicht verwendet werden. Hat man einen übertragungssicheren Code ausgewählt, so muß man stets auch entsprechend höhere Investitionskosten für das Informationsübertragungssystem akzeptieren. Hier sei auch auf Kap. 11 verwiesen, das die Probleme der digitalen Informationsübertragung behandelt.

In der Praxis der Digitaltechnik haben sich zur Lösung der verschiedenen Probleme bestimmte „Spezialcodes" besonders bewährt, Bild 1/63. Der Praktiker wird sich in der Regel dieser eingeführten Codes bedienen, ohne selbst die Auswahl treffen zu müssen.

Wortcodes – Zifferncodes

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß auf allen Gebieten der numerischen Informationsverarbeitung binäre Signale Verwendung finden. Dies bedeutet, daß z. B. alle Zahlen letztlich auch binär codiert werden müssen.

Will man eine beliebige Dezimalzahl binär codieren, so liegt es nahe, diese Dezimalzahl zuerst in eine entsprechende Dualzahl überzuführen, deren Dualziffern 0 und 1 dann durch die entsprechenden binären Signalwerte 0 und L repräsentiert werden. Hierbei wird die Dezimalzahl als Ganzes in ein Zahlwort aus Binärzeichen umgesetzt. Durch diese wortweise Codierung entsteht ein Wortcode (Tabelle 1/4, Mitte).

In der Praxis der Digitaltechnik hat sich herausgestellt, daß diese Wortcodes bezüglich der benötigten Binärstellen wirtschaftlich sind, daß aber der Codierungsvorgang selbst technisch aufwendig und zeitraubend ist. Aus diesem Grunde geht man in vielen Fällen den Weg der ziffernweisen Codierung, Tabelle 1/5.

Bei der ziffernweisen Codierung wird jede einzelne Ziffer der Dezimalzahl einzeln binär codiert (Tabelle 1/4 unten). Wird dabei für jede Ziffer die Umsetzung nach dem dualen Zahlensystem vorgenommen, so erhalten wir den verbreiteten dualen BCD-Code (Tabelle 1/4 unten und auch S. 31).

Die wortweise Codierung ist vom Stellenaufwand her wesentlich wirtschaftlicher als die ziffernweise Codierung (Tabelle 1/5).

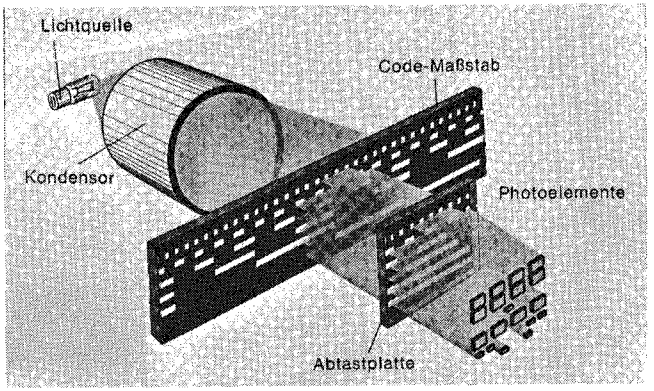


Bild 1/63. Code-Lineal zur digitalen Wegmessung (Meßprinzip).

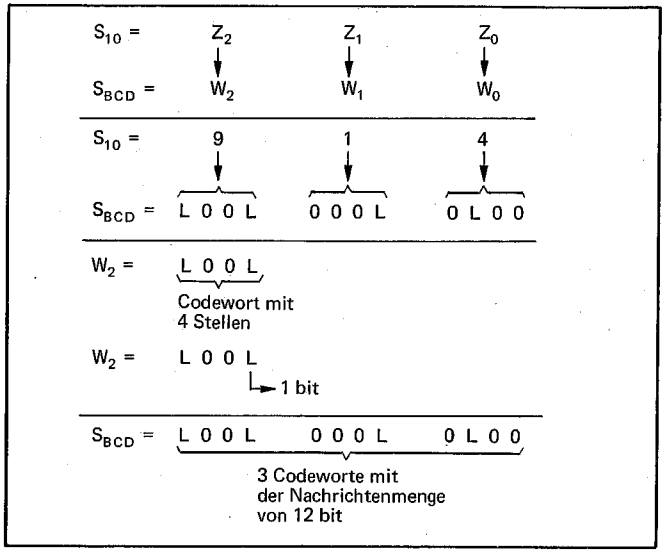
Tabelle 1/4. Binäre Wort-Codierung, binäre Ziffern-Codierung.

zu codierender Zahlenwert:	„neunhundertvierzehn"
dezimale Darstellung	$S'_{10} = 914$
binäre Wortcodierung:	914 L L L 0 0 L 0 0 L 0
reiner Dualcode	S_{Dual} = L L L 0 0 L 0 0 L 0
binäre Zifferncodierung:	9 1 4 L 0 0 L 0 0 0 L 0 L 0 0
dualer BCD-Code	S_{BCD} = L 0 0 L 0 0 0 L 0 L 0 0

Tabelle 1/5. Stellenaufwand bei Ziffern-Codierung und Wort-Codierung im Vergleich.

Dezimalzahlenbereich, der binär codiert werden soll	Stellenzahl, die bei Zifferncodierung mindestens aufgebracht werden muß	Stellenzahl, die bei Wortcodierung mindestens aufgebracht werden muß
0 bis 9	4	4
0 bis 99	8	7
0 bis 999	12	10
0 bis 9999	16	14
0 bis 99999	20	17

Tabelle 1/6. Ein bit – die kleinste Nachrichtenmenge.



Ein bit – die kleinste Nachrichtenmenge

Digitaltechnische Elemente sind letztlich binäre Elemente, die nur die beiden Binärzustände 0 und L unterscheiden können. Somit kann jedes binäre Schaltungselement eine kleinste Nachrichtenmenge von einem bit repräsentieren bzw. speichern. Ein bit (von dem englischen „binary digit" abgeleitet) ist die Kurzbezeichnung für die Nachrichtenmenge einer Binärstelle, Tabelle 1/6.

Bei der ziffernweisen Codierung einer Dezimalzahl erhalten wir jeweils pro Dezimalstelle ein Codewort, das aus (mindestens) 4 bit besteht. Die Summe aller Nachrichtenelemente ergibt sich aus der Summe aller Binärstellen, die bei der Codierung entstehen.

Vor- und Nachteile redundanter Codes

Mit 4 Binärstellen lassen sich durch entsprechende Kombinationen der Binärwerte 0 und L insgesamt $2^4 = 16$ verschiedene Codeworte darstellen. Legt man zugrunde, daß mit Hilfe dieser 16 binären Codeworte Dezimalzahlen codiert werden sollen, so können bei der Anwendung des dualen Zahlensystems die Zahlen 0 bis einschließlich 15 abgedeckt werden.

Bei der besprochenen ziffernweisen Codierung werden von den 16 möglichen verschiedenen Codeworten allerdings nur 10 ausgenutzt. Der Überschuß von 6 bei der Codierung nicht benötigten Binärzeichenkombinationen nennt man (nicht vermeidbare) Redundanz. Redundanz kann mit dem deutschen Wort „Weitschweifigkeit" erklärt werden. Die nicht verwendeten Codeworte heißen Pseudotetraden oder Pseudodezimalen.

Bei echten redundanten Codes werden mehr Binärstellen zur Darstellung, z.B. eines Zahlenwertes, herangezogen, als unbedingt nötig sind. Während man die Zahlenwerte 0 bis 9 im reinen Dualcode mit nur 4 Binärstellen abdecken kann, hat man z.B. im 2-aus-5-Code 5 Stellen und im 1-aus-10-Code sogar 10 Stellen verwendet.

Geht man davon aus, daß der technische Aufwand bei der digitalen Informationsübertragung mit jeder Binärstelle steigt, so erkennt man, daß die redundanten Codes unwirtschaftlich sein müssen. Und doch kann man auf sie nicht verzichten.

Verständnis für die Notwendigkeit redundanter Codes, wie z. B. des 2-aus-5-Codes, erhält man dann, wenn man weiß, daß es nur mit Hilfe redundanter Codes möglich ist, Fehler, die bei der Übertragung von Informationen auftreten können, zu entdecken und im besonderen Falle (z.B. bei der Verwendung des Hamming-Codes) automatisch zu beheben.

Übung 1/7 ?

a) Geben Sie eine Erläuterung für den Begriff Code-System.

b) Welche Bedeutung kommt den binären Signalen in der Codierungstechnik zu?

Eine Auswahl gebräuchlicher Codes

Auf den nachfolgenden Seiten werden einige der in der Digitaltechnik gebräuchlichen Codes vorgestellt. Diese Auswahl mag die Vielfalt der Codierungsmöglichkeiten andeuten. In den einzelnen Kapiteln des Buches werden einige dieser Codes näher erläutert und angewendet.

Zähl-Codes, Bild 1/64 bis 1/66

Vorteile: leicht lesbar, sie folgen der Abzählschreibweise. Dabei wird die Zahl S_{10} durch eine entsprechende Anzahl von Impulsen übermittelt.

Geringer Aufwand bei der Codierung und Decodierung.

Nachteil: aufwendig bei der Informationsspeicherung und -übertragung.

Anwendung: vorzugsweise in der Fernsprechvermittlungstechnik.

Die Wählscheibe des Telefonapparates gibt entsprechend den Ziffern 0 bis 9 bis zu 10 Impulsen ab. Da die Ziffer 0 strenggenommen durch 0 Impulse repräsentiert werden müßte und dies natürlich unsinnig wäre, hat man den Zählcode modifiziert. Bei der Wahl der Ziffer 0 werden 10 Impulse abgegeben (Bild 1/64).

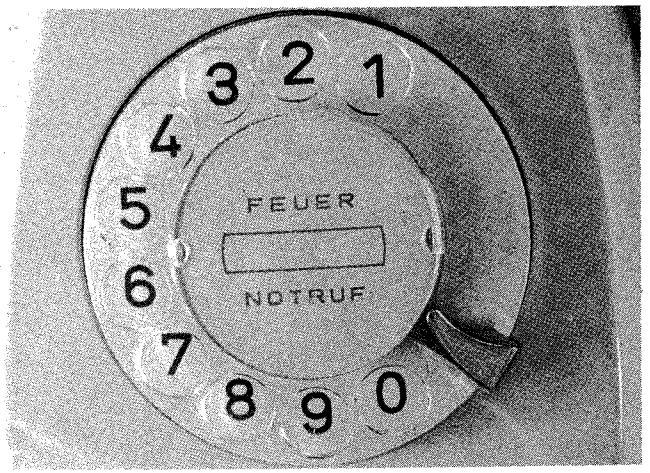


Bild 1/65. Wählscheibe eines Fernsprechers.

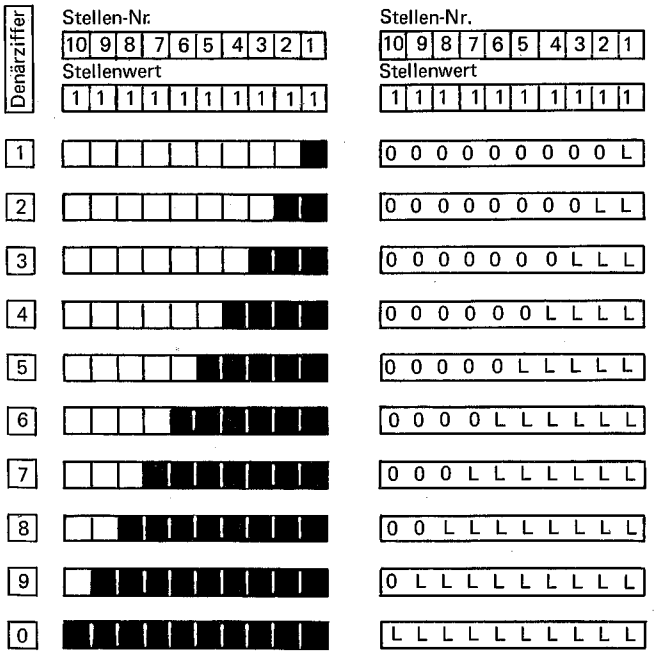


Bild 1/64. Modifizierter Zähl-Code, wie er bei Fernsprechapparaten benutzt wird.

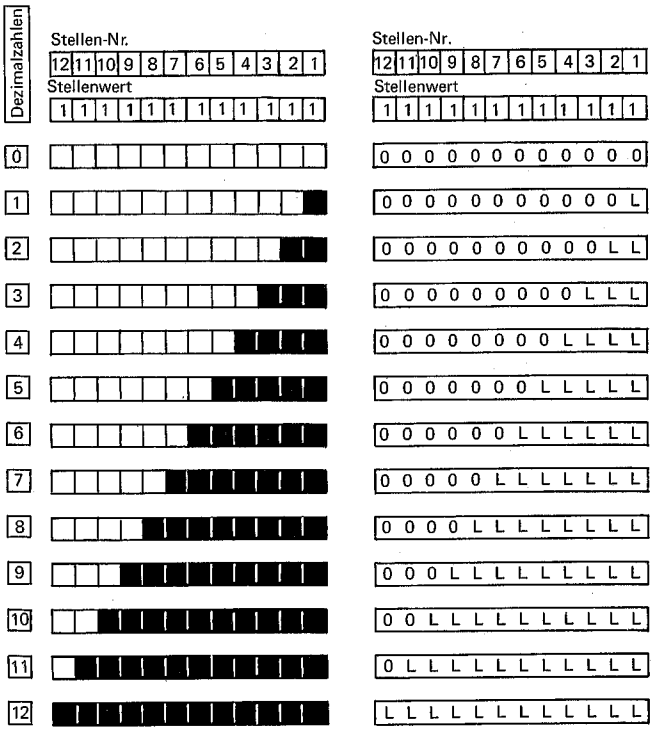


Bild 1/66. Zähl-Code.

1-aus-10-Code, Bild 1/67

Vorteile: gute Lesbarkeit, Übertragungsfehler können infolge der hohen Redundanz erkannt werden, geringer Aufwand bei Codierung und Decodierung;

Nachteil: hoher technischer Systemaufwand infolge der Redundanz;

Anwendung: Im Selbstwählferndienst werden die vom Teilnehmer gewählten Ziffern in diesem Code gespeichert.

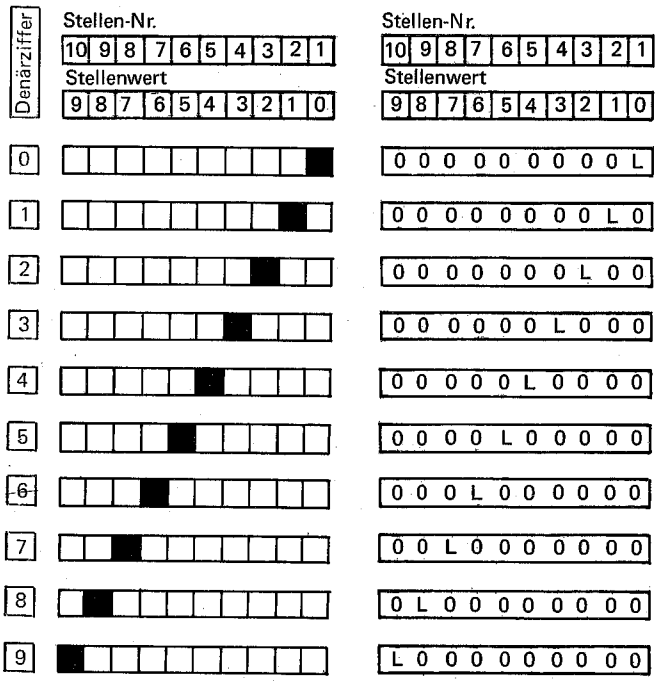


Bild 1/67. 1-aus-10-Code.

Reiner Binärcode, Bild 1/68

Der reine Binärcode entspricht in seinem Aufbau vollständig der dualen Zahlendarstellung. Der reine Binärcode ist besonders einfach arithmetisch zu verarbeiten.

Die Umcodierung in den BCD-Code, die bei der maschinellen Datenverarbeitung zwingend notwendig werden kann, bedingt jedoch einen erheblichen Aufwand.

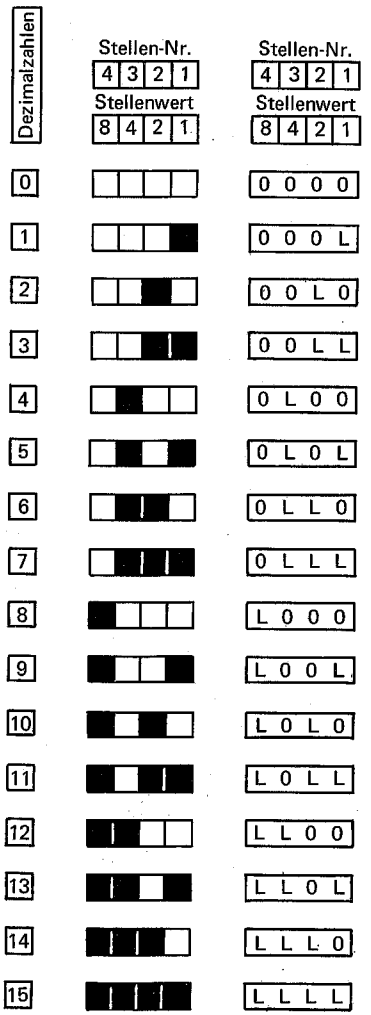


Bild 1/68. Reiner Binärcode (binär, direkt).

8-4-2-1-Code (dualer BCD-Code), Bild 1/69

Dieser Code bringt Vorteile beim Zählen und bei der Addition. Nachteilig ist, daß er das Binärwort 0000 enthält (kritisch im Fehlerfall) und nicht symmetrisch aufgebaut ist. Er kann somit nicht zur 9er Komplementbildung herangezogen werden.

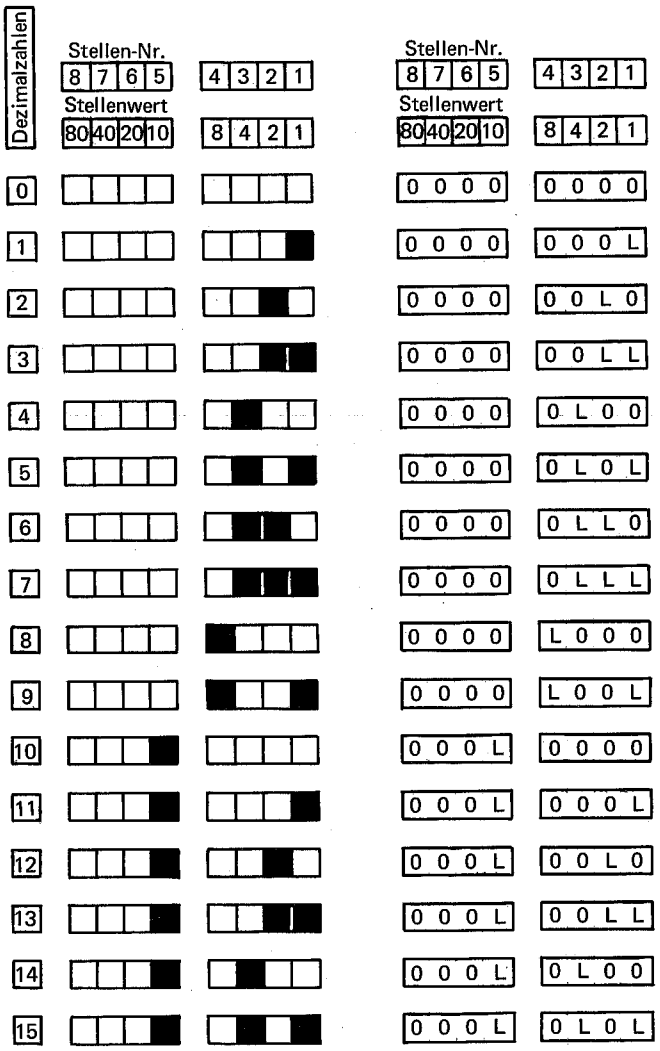


Bild 1/69. 8-4-2-1-Code (dualer BCD-Code).

Aiken-Code, Bild 1/70

Vorteile: stellenwertiger Code, symmetrischer Aufbau;

Nachteil: enthält die Binärworte 0000 und LLLL, die im Fehlerfalle vorgetäuscht werden können.

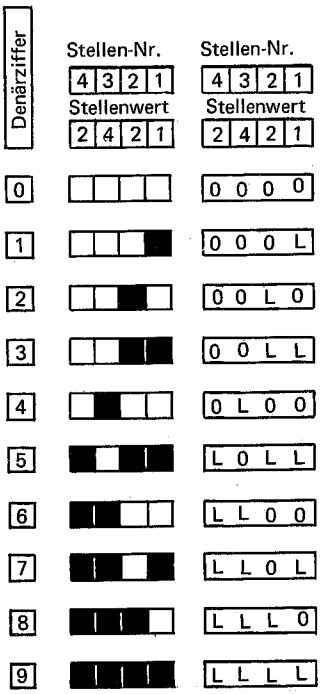


Bild 1/70. Aiken-Code.

Gray-Code, Bild 1/71

Vorteil: Beim Übergang von einer Dezimalziffer zur anderen ändert sich das Codewort nur um ein bit (Ausnahme: Übergang von 9 auf 0 bei ziffernweiser Codierung). Dieser Vorteil wird bei der Umwandlung analoger Meßgrößen in digitale Signale ausgenutzt, da hierdurch Signalisierungsfehler vermieden werden können.

Nachteil: kann nicht zur Lösung arithmetischer Probleme herangezogen werden.

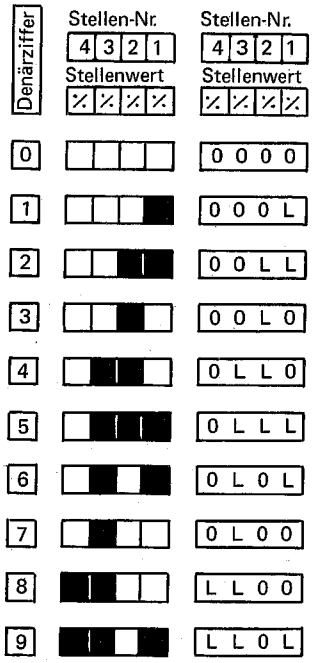


Bild 1/71. Gray-Code.

2-aus-5-Code, Bild 1/72

Vorteil: Infolge der Redundanz können Übertragungsfehler erkannt werden.

Nachteil: Infolge der Redundanz erhöhter Aufwand.

Verwendung: Die Bundespost verwendet den 2-aus-5-Code bei den automatischen Briefsortieranlagen. Hierbei werden die Postleitzahlen in den 2-aus-5-Code übertragen.

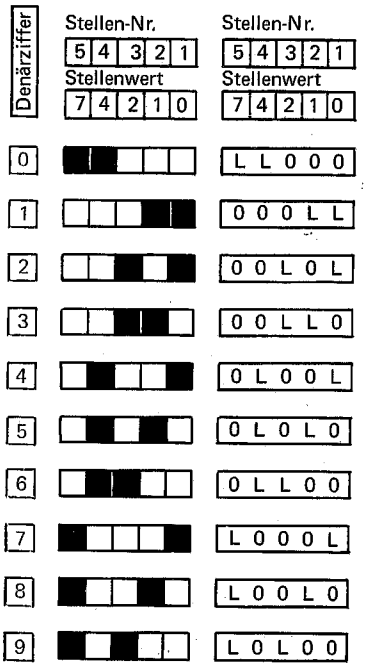


Bild 1/72. 2-aus-5-Code.

Zu den Übungen in diesem Buch

Die Übungen sollen es Ihnen ermöglichen,
- sich Begriffe sicher einzuprägen und sie richtig anzuwenden,
- grundlegende Denkabläufe des Digitaltechnikers routinemäßig einzuüben und
- in etwas komplexeren Fallstudien selbständig zu kombinieren.

Sie sind daher in *Verständnisübungen*, *formale Übungen* und *Fallstudien* gruppiert. Insbesondere die Fallstudien sind nicht mehr ganz einfach, da sie sonst ihren Zweck verfehlen würden. Für viele der Übungen gibt es mehr als nur eine richtige Lösung. Nur bei Einfachstübungen läßt sich das vermeiden. Um auch bei komplexeren Übungen eine ausreichende und sichere Selbstkontrolle zu ermöglichen, sind sie in Einzelschritte a), b), c), . . . untergliedert. Es empfiehlt sich, für einen Einzelschritt ein Zeitlimit zu setzen, z. B. zehn Minuten, nach dem man die am Buchende angegebene Lösung studiert, auch wenn man nicht ganz fertig geworden ist. Es ist wichtiger, sich mit dem Übungsstoff intensiv auseinanderzusetzen, als in jedem Einzelfall selber die richtige Lösung zu finden. Sie können die Lösungsseiten am Ende des Buches so abdecken und von oben nach unten gemäß den Übungsnummern offenlegen, daß Sie nicht unfreiwillig bereits die Lösung der nachfolgenden Übung einsehen. Die etwas schwierigeren Übungen sind paarweise angelegt, d. h. es folgen zwei sehr ähnliche Übungen jeweils hintereinander. Im Übungstext heißt es dann, „falls Ihnen die vorige Übung mißlungen ist, versuchen Sie . . .". Nach einem sorgfältigen Studium der für die jeweils erste Übung angegebenen Lösung müßte Ihnen die zweite in der Regel gelingen. Die Abschätzung des gemäß Ihren individuellen Lerngewohnheiten sinnvollen Zeitlimits für die zweite Übung obliegt Ihrer Eigenverantwortung, wobei Sie auch Ihre gesamte Zeitsituation berücksichtigen müssen.

Die *Verständnisübungen* sollten unbedingt gemacht werden, notfalls mit engem Zeitlimit, auch wenn das einmal zu einem überwiegend passiven Studium der angegebenen Lösungen ausarten sollte. Sie können dann nämlich, da Sie die Begriffe sicherer beherrschen, das Nachfolgende schneller erfassen.

Formale Übungen mögen notfalls auch einmal nachgeholt werden. Aber ohne diese formalen Übungen werden Sie das Gelernte kaum selbständig anwenden können und sehr schnell wieder vergessen.

Die formalen Übungen sind gleichzeitig die Basis für die *Fallstudien,* bei denen komplexere Übungen unter Angewöhnung eines rationellen Problemlösungsverhaltens, nämlich durch Gliederung in Teilprobleme, bearbeitet werden sollen. Hier ist es wichtig, daß Sie nach jedem Einzelschritt auf der Basis der dafür angegebenen Lösung weiterarbeiten, auch wenn Sie selbst eine andere, ebenfalls richtige Lösung gefunden haben. Andernfalls könnten Sie sich – vielleicht richtig – von dem hier angegebenen Lösungsweg so weit entfernen, daß Sie keine Vergleichsmöglichkeit mehr haben.

Sie werden wahrscheinlich den vollen Ertrag dieses Kurses im Medienverbund nur einheimsen können, wenn Sie je Kapitel etwa fünf bis acht Zeitstunden ansetzen. Diese Empfehlungen zur „Lernstrategie" mögen Ihnen Basis einer eigenverantwortlichen Planung und Kontrolle Ihres Lernprozesses sein. Das Autorenteam wünscht Ihnen dazu viel Freude und viel Erfolg!

Übung 1/8 **Verständnisübung**

Physikalische Form und Art von Signalen

a) Welche physikalische Größe dient in einer Landkarte zur Wiedergabe der Flächengröße eines Landschaftsteils?

- Der Längenmaßstab?
- Die Größe eines bestimmten Teils der Papierfläche?
- Die Einfärbung?

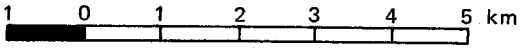
b) Durch welche physikalische Größe wird auf Landkarten die Weglänge zwischen zwei Punkten signalisiert? Durch die

- Länge der eingezeichneten Weglinie,
- Strichbreite der eingezeichneten Weglinie,
- Entfernungszahl in km, die an der Weglinie zwischen jeweils zwei bestimmten Markierungspunkten notiert ist?

c) Welche der Flächen- bzw. Längendarstellungen der Übungen a) und b) ist analog, welche digital?

d) In einem Atlas finden Sie folgende Maßstabsangaben:

Maßstab 1 cm = 1 km
Maßstab 1 : 100000



Welche dieser Darstellungen ist digital, welche analog?

e) Beim Benutzen Ihres Kraftfahrzeugs beeinflussen Sie dessen Teilsysteme durch bestimmte Handbetätigungen. Sie bewirken dadurch jeweils eine Informationsübertragung an ein solches Teilsystem. Bitte ergänzen Sie die folgende Tabelle

Handbetätigung	Informationsübertragung an	physikal. Signalform	Art des Signals
Steuerrad drehen	Lenkmechanismus	Drehwinkel, Längsverschieb.	analog

durch weitere Handbetätigungen: Blinkerhebel betätigen, Fußbremse betätigen, Licht einschalten, Lichtstärke der Armaturenbrettbeleuchtung ändern, Hupe betätigen, Gas geben, Auf- bzw. Abblenden.

Übung 1/9 **Verständnisübung**

Analog – Digital

a) Analog- und Digitaltechnik unterscheiden sich in folgender Weise:

- Sie haben prinzipiell verschiedene Aufgabenbereiche.
- Die Analogtechnik dient überwiegend der Informationsübertragung, die Digitaltechnik dagegen überwiegend der Darstellung von Zahlen.
- Sie unterscheiden sich nach der Art der benutzten Signale.
- Zu ihrer Unterscheidung dient die physikalische Form der benutzten Signale.

b) Was ist der charakteristische Unterschied zwischen analogen und diskreten bzw. digitalen Signalen?

c) Welche der folgenden Aussagen treffen zu, wenn ein Meßwert analog signalisiert wird?

- Die Signalgröße ist proportional dem Meßwert, so muß sich z. B. bei einer Verdoppelung des Meßwertes auch der Signalwert verdoppeln.
- Die Signalgröße nimmt zu, wenn der Meßwert zunimmt.
- Jede noch so geringfügige Änderung des Signalwertes zeigt an, daß sich der Meßwert geändert hat.
- Der Signalwert kann einen zusammenhängenden Bereich überstreichen, ebenso der Meßwert. Abgesehen von geringfügigen Abweichungen entspricht jedem Meßwert ein bestimmter Signalwert. Benachbarten Meßwerten entsprechen benachbarte Signalwerte.
- Wenn sich der Meßwert sprunghaft ändert, macht auch der Signalwert einen Sprung.

d) Wieviel verschiedene Signalwerte bzw. gegenseitig abgesetzte Signalwertbereiche hat ein binäres, wieviel ein denäres Signal?

e) Welche Vor- bzw. Nachteile können Sie für die analoge bzw. digitale Signalisierung von Meßwerten angeben?

Übung 1/10 **Verständnisübung**

Genauigkeitsfragen

a) Ist die analoge oder die digitale Darstellung genauer?

b) Die Kilometerzähler in Kraftwagen zählen üblicherweise von 00 000 km bis 99 999 km. Wie hoch ist die relative Genauigkeit? Um wieviel % würde der Aufwand steigen, wollte man die Stufung bzw. Grundeinheit bei annähernd gleicher Maximalstrecke von 1 km auf 100 m verfeinern?

c) Ein Vertreter besucht Sie in Ihrer Wohnung und bietet Ihnen anhand von Prospekten an eine

- Digitaluhr mit Sekunden- und Datumsanzeige ohne Stoppeinrichtung,
- digitale Stoppuhr mit Anzeige von hundertstel Sekunden,
- digitale Uhr mit Anzeige von hundertstel Sekunden ohne Datumanzeige und ohne Stoppeinrichtung.

Die Preise sind bei allen Angeboten etwa gleich; bei Bestellung sind 20% des Preises in bar anzuzahlen. Wie beurteilen Sie die Angebote?

Übung 1/11 **Verständnisübung**

Zahlensysteme und Codes

a) Wieviel Symbole benötigt man beim dezimalen, wieviel beim dualen Zahlensystem?

b) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Basis und Ziffernvorrat eines Zahlensystems?

c) Schreiben Sie unter die Ziffern der folgenden Dezimalzahl die zugehörigen Stellenwerte und über die Ziffern die Stellennummern.

Stellen-Nr.				0		
Stelleninhalt	4	5	6	9	2	3
Stellenwert						

Wie lautet der Stellenwert für die Stellen-Nr. *n*?

d) Geben Sie als Dualzahl und in Worten an, welches die größte und welches die kleinste Zahl ist, die man mit vier Dualstellen (ohne Vorzeichen und ohne Komma, d. h. nur Zahlen gehen in Konkurrenz, die weder negativ noch gebrochen sind) schreiben kann.

e) Verbinden Sie folgende Worte mit einigen Füllwörtern zu einem Satz:

Begriff, Kombination, Alphabet, Symbol, Zuordnung, Code.

f) Was versteht man im Sinne der Codierung unter „Wort"? Wie kann man die Feststellung, zwei Worte seien gleich, schärfer formulieren? (OTTO ist nicht gleich TOTO!)

g) Bei welchen der Ziffern-Codes, die Sie in Kapitel 1 kennengelernt haben, ist die Anzahl der in einem Code-Wort vorkommenden Einsen bzw. L immer die gleiche?

h) Welche Dezimalziffer wird durch die Bitkombination 0L0L im 8-4-2-1-Code, welche im Gray-Code dargestellt?

i) Die Bitkombination 0LL00 hat welche Bedeutung im 2-aus-5-Code, welche im CCITT-Nr.2-Code? (vgl. S. 287, Nr. 9 in Bild 11/17)

Übung 1/12 **Formale Übung**

Zahlübersetzungen

a) Übersetzen Sie 357 nach der Methode des Subtrahierens von Zweierpotenzen in das duale Zahlensystem.

b) Übersetzen Sie 357 nach der Methode der wiederholten Division durch 2 ins duale Zahlensystem.

c) Übersetzen Sie die Dualzahl L0LL00L0L durch Addition von Zweierpotenzen in das dezimale System.

d) Durch welchen Faktor entsteht aus 15 der Wert der Dualzahl LLLL0000?

2. Wahr oder unwahr – Antworten auf logische Fragen

Die logischen Grundverknüpfungen

Ständig werden wir im täglichen Leben vor Entscheidungen gestellt, wie wir uns in dieser oder jener Situation verhalten sollen. Dies betrifft keineswegs nur die für uns ganz wesentlichen Entscheidungen, sondern durchaus auch alle weniger wichtigen, „alltäglichen" Entscheidungen, ja sogar solche Verhaltensweisen, bei denen wir uns gar nicht bewußt werden, daß wir hier Entscheidungen gefällt haben.

So werden wir uns etwa beim Überqueren einer zweispurigen verkehrsreichen Straße erst vergewissern, daß von links und von rechts kein Auto kommt. Wir entscheiden uns erst dann zum Überqueren, wenn sich weder von rechts noch von links ein Auto nähert. Die endgültige Entscheidung baut sich hierbei sogar noch einmal aus zwei untergeordneten Teilentscheidungen über zwei Fragen auf:

„Kommt ein Auto von links?"
„Kommt ein Auto von rechts?"

Jede dieser Fragen ebenso wie die Frage
„Überqueren wir die Straße?"
enthält eine klar umrissene Aussage. Überprüfen Sie es: Auf jede Frage kann man ganz klar mit „Ja" oder mit „Nein" antworten. Die drei Aussagen sind:

1. „Es kommt ein Auto von links".
2. „Es kommt ein Auto von rechts".
3. „Wir überqueren die Straße".

Derartige Entscheidungen bezeichnet man als „digitale Entscheidungen" oder auch binäre Entscheidungen.

In diesem Fall ist die dritte Aussage von den ersten beiden Aussagen abhängig, sie ist aus ihnen zusammengesetzt. Man spricht hier auch von „abhängiger" Aussage. Im Gegensatz dazu nennt man die beiden anderen Aussagen „freie Aussagen".

Merke:
Zusammengesetzte Aussagen (abhängige) lassen sich in Teilaussagen (freie) zerlegen. Dadurch wird es möglich, auch komplexe Systeme auf einfache „Ja-Nein"-Entscheidungen zurückzuführen.

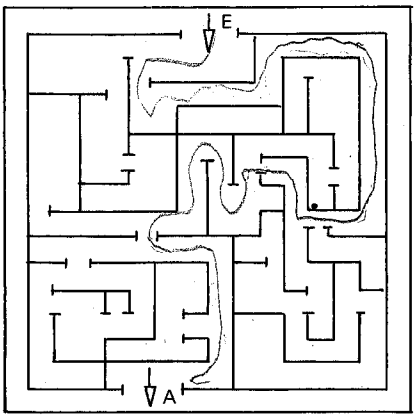


Bild 2/1. Irrgarten. Welcher Weg führt zum Ausgang?

Ein weiteres Beispiel für solche aus Teilen zusammengesetzten Entscheidungen ist in Bild 2/1 gezeigt. Der hier dargestellte Irrgarten ist nur auf einem einzigen Weg vom Eingang E zum Ausgang A zu durchwandern. Mehrmals muß man die Entscheidung fällen, ob man den Weg nach rechts oder den nach links wählt.

An jeder dieser Stellen läßt sich die Teilentscheidung etwa in die Aussage kleiden: „Wir gehen nach rechts" oder auch „Wir gehen nach links". In beiden Fällen handelt es sich um Teilaussagen, die – alle zusammengenommen – schließlich zur Auffindung des richtigen Weges führen.

Übung 2/1 ?

Wieviel Rechts-links-Entscheidungen führen im Irrgarten Bild 2/1 vom Eingang E zum Ausgang A?

Aussagen können wahr oder unwahr sein

Alle derartigen Aussagen können nun entweder „wahr" oder „unwahr" sein. Die Aussage etwa: „Es kommt ein Auto von links" ist „unwahr", falls sich kein Auto von links nähert, sie ist „wahr", falls sich eines nähert.

Merke:
Jeder Aussage lassen sich zwei Wahrheitswerte zuordnen:
„wahr" und „unwahr".
Sie sind also zweiwertig (binär).

In der Digitaltechnik hat man es meist mit Aussagen in Form technischer Bedingungen zu tun, deren beide Wahrheitswerte man dann nicht mit „wahr" und „unwahr", sondern mit „erfüllt" und „nicht erfüllt" ausdrückt.

wahr	unwahr
L	0

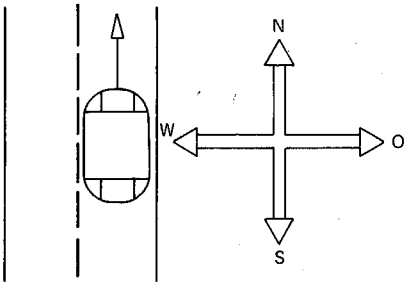
Bild 2/2. Abkürzungssymbole von Wahrheitswerten.

Das Ausschreiben der Worte „wahr", „unwahr" bzw. „erfüllt", „nicht erfüllt" ist gewöhnlich recht umständlich, so daß man sich auf Abkürzungen geeinigt hat; „wahr" wird etwa durch L, „unwahr" durch 0 abgekürzt, wie es in Bild 2/2 gezeigt ist.

Ebenso kann man die Aussage selbst abkürzen, wenn man an ihre Stelle z.B. ein Buchstabensymbol setzt; der Buchstabe steht dann stellvertretend für den Inhalt der Aussage.

Beispiel:
„Wir überqueren die Straße",
abgekürzt durch den Buchstaben *A*.
A = L heißt dann: Es ist „wahr", daß wir die Straße überqueren
A = 0 heißt: Es ist „unwahr", daß wir sie überqueren. Die Straße wird nicht überquert.

Übung 2/2 ?



Betrachten Sie die Skizze. Welchen Wahrheitswert hat die Aussage „Das Auto fährt nach Süden"?

Aussagen dieser digitalen, zweiwertigen Art werden auch als „logische Variable" oder „binäre Variable" oder „Boolesche Variable" *) bezeichnet. Handelt es sich um Aussagen aus dem technischen Bereich, so spricht man von „Schaltvariablen".

Boolesche Variablen können miteinander verknüpft werden

Es soll nun gezeigt werden, daß „Boolesche Variablen", also zweiwertige Aussagen der behandelten Art, miteinander in Beziehung stehen können. Diese Beziehungen werden als „Verknüpfungen" bezeichnet. Man hat sich auf drei, dem Sprachgebrauch besonders angepaßte „Grundverknüpfungen" festgelegt. Es sind dies die UND- und die ODER-Verknüpfungen, sowie die NICHT-Beziehung. Sie sollen im folgenden anhand einfacher Beispiele eingeführt und erklärt werden.

Beispiele für UND-Verknüpfungen

Beispiel 1

Es ist bekannt, daß bei einer Wahl (Bild 2/3) in Deutschland ein Bürger einen Wahlschein nur
dann erhalten kann, (abhängige Variable)
wenn
er erwachsen ist (unabhängige Variable)
UND
deutscher Staatsbürger ist (unabhängige Variable)
UND
nicht entmündigt ist (unabhängige Variable).

Anhand von Bild 2/4 läßt sich besonders deutlich erkennen, daß, wenn nur e i n e der drei obigen digitalen Bedingungen nicht erfüllt ist, der Bürger vom Wahlgang ausgeschlossen wird. Die drei Bedingungen sind somit durch die UND-Verknüpfung miteinander verbunden.

*) Boole, George, englischer Mathematiker, 1815 – 1864. Er entwickelte Sätze zu einer Algebra der zweiwertigen Logik, die Grundlage zur rechnerischen Behandlung digitaler Schaltungen wurde.

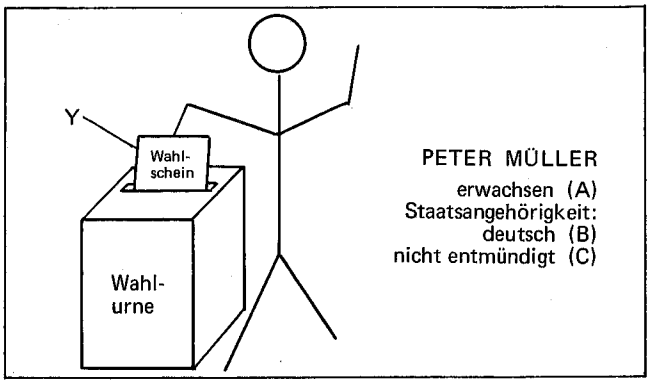


Bild 2/3. Wahlvorgang.

Führen wir folgende Abkürzungen ein:
A „Er ist erwachsen".
B „Er ist deutscher Staatsbürger".
C „Er ist nicht entmündigt".
Y „Ein Wahlschein kann ausgestellt werden",
so gilt, daß Y nur dann den Wert L („wahr") hat, wenn
A = L ist UND *B* = L ist UND *C* = L ist.

Man hat durch Normung für diese Art der logischen UND-Verknüpfung von Booleschen Variablen ein Formelsymbol ∧ eingeführt:

UND ⇔ ∧

Man könnte es als umgedrehtes „V" bezeichnen (vgl. a. das ODER Zeichen auf Seite 40.)

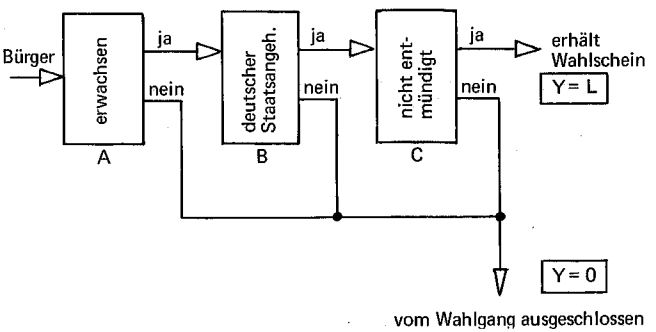


Bild 2/4. Die UND-Verknüpfung bei der Ausstellung eines Wahlscheines.

Die im Beispiel 1 dargestellte Verknüpfung nimmt also damit die Form

$Y = A \wedge B \wedge C$

an. Man liest dies als

Y ist gleich *A* UND *B* UND *C*.

Neben dieser formelmäßigen Darstellung der UND-Verknüpfung hat man auch eine symbolische Veranschaulichung eingeführt, die in Bild 2/5 dargestellt ist.

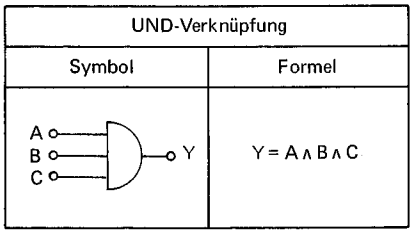


Bild 2/5. Symbol und Formelzeichen der UND-Verknüpfung.

Die Eingangsgrößen sind auf die gerade Seite dieses Symbols geführt. Die Ausgangsgröße ist von der gekrümmten Seite des Symbols weggeführt. Die UND-Verknüpfung ist dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des Symbolzeichens keine durchgezogenen Linien vorhanden sind.

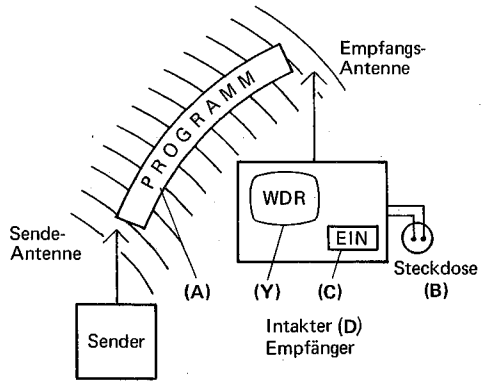


Bild 2/6. Fernsehempfang als Beispiel einer UND-Verknüpfung.

Beispiel 2

Ein Fernsehgerät, Bild 2/6, zeigt nur dann ein Bild (*Y*), wenn ein Programm ausgestrahlt wird (*A*)

UND

der Anschlußstecker angeschlossen ist (*B*)

UND

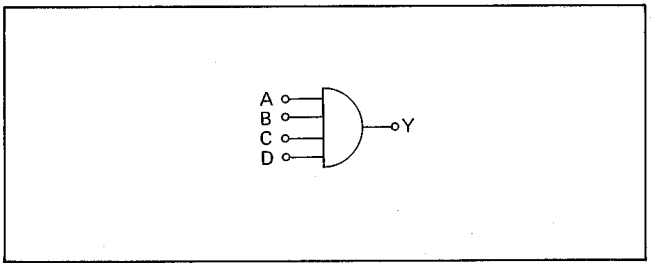
das Gerät eingeschaltet ist (*C*)

UND

das Gerät nicht defekt ist (*D*).

Die formelmäßige Darstellung dieser Verknüpfung ist dann $Y = A \wedge B \wedge C \wedge D$.

Dieser Verknüpfung entspricht das folgende Symbol:



Im Zusammenhang mit der technischen Realisierung der UND-Verknüpfung spricht man auch häufig vom UND-Gatter.

Übung 2/3 ?

Wie sehen die formelmäßige Abkürzung und die symbolische Darstellung folgender Verknüpfung von Bedingungen aus?

Das Messer einer Papierschneidemaschine darf nur dann einen Arbeitshub ausführen, wenn sich das Bedienungspersonal außerhalb des Gefährdungsraumes befindet und der Auslösungsschalter für das Messer betätigt wird.

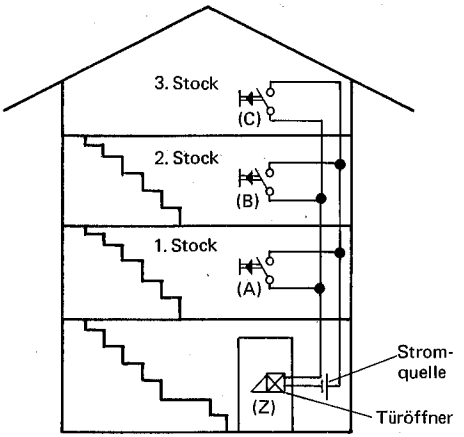


Bild 2/7. Entriegelung der Haustür durch Türöffner.

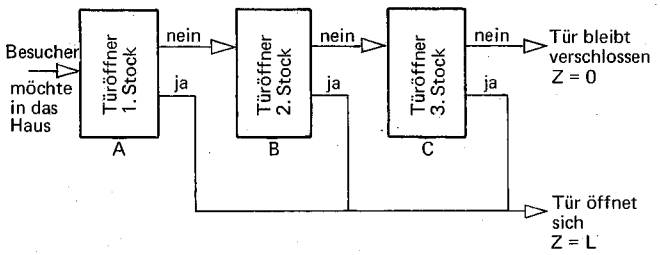


Bild 2/8. Die ODER-Verknüpfung bei der Entriegelung einer Haustür.

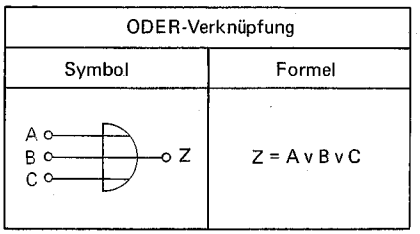


Bild 2/9. Symbol und Formelzeichen der ODER-Verknüpfung.

Beispiele für ODER-Verknüpfungen

Beispiel 1

In einem dreigeschossigen Wohnhaus, Bild 2/7, kann von jeder Etagenwohnung aus durch Betätigen des jeweiligen Türöffners die Haustür entriegelt werden. Es handelt sich hier also um folgende Verknüpfung:

Die Haustür wird entriegelt (*Z*), wenn der Türöffner im 1. Geschoß betätigt wird (*A*)

ODER

der Türöffner im 2. Geschoß betätigt wird (*B*)

ODER

der Türöffner im 3. Geschoß betätigt wird (*C*).

Bild 2/8 gibt eine Veranschaulichung dieses Zusammenhanges. Die Tür wird bereits dann entriegelt, wenn nur ein Türöffner betätigt wird, d.h. Z = L, wenn nur eine der Booleschen Variablen *A*, *B*, *C* den Wert L aufweist.

Wegen der Verwendung des Verknüpfungswortes ODER in dieser Aussage ist es sinnvoll, diese Verknüpfung als logische ODER-Verknüpfung zu bezeichnen. Auch hierfür ist in den Normen eine formelmäßige Abkürzung und eine symbolische Veranschaulichung vereinbart worden. Das Formelsymbol für die ODER-Verknüpfung ist das Zeichen $\vee$. (Es kommt vom lateinischen „vel", was „oder" heißt.)
ODER $\Leftrightarrow \vee$.
Das Beispiel führt damit auf die formelmäßige Abkürzung
$Z = A \vee B \vee C$.
Man liest:
Z ist gleich *A* ODER *B* ODER *C*.

In Bild 2/9 ist die symbolische Darstellung der ODER-Verknüpfung angegeben. Die Eingangsgrößen führen hier im Gegensatz zur UND-Verknüpfung bis zur gekrümmten Linie durch.

Beispiel 2

Der Waschvorgang, Bild 2/10, bei einer Waschmaschine wird unterbrochen (*U*), wenn ihre Tür geöffnet wird (*X*)

ODER

der Wasserdruck ausbleibt (*Y*)

ODER

der Antriebsmotor überlastet wird (*Z*).

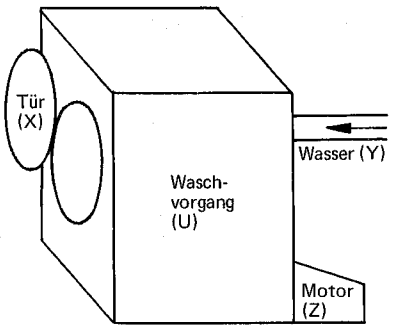
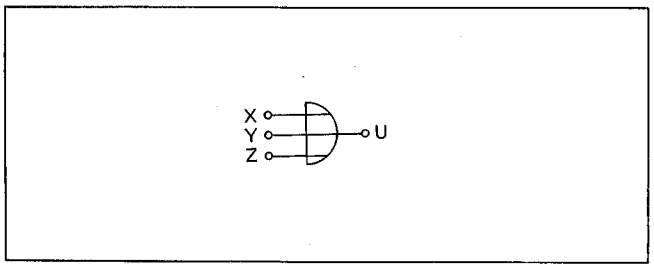


Bild 2/10. Waschvorgang bei einer Waschmaschine als Beispiel einer ODER-Verknüpfung.

Dieser Zusammenhang hat dann die Abkürzung
$U = X \vee Y \vee Z$,
und die symbolische Darstellung:



Wird die ODER-Verknüpfung technisch realisiert, so spricht man wieder vom ODER-Gatter.

Übung 2/4

Die Wärmezufuhr bei einem chemischen Reaktionsbehälter muß abgeschaltet werden, wenn die Temperatur zu hoch ist oder wenn der Füllstand des Behälters zu niedrig ist. Wie läßt sich dieser Zusammenhang als Formel und im Symbol ausdrücken?

Die Negation (NICHT-Verknüpfung)

Neben diesen beiden Verknüpfungen UND bzw. ODER muß man nur noch eine einzige weitere grundlegende Operation zur Beschreibung von Verknüpfungen zwischen Aussagen kennenlernen. Es handelt sich um die sog. NEGATION, die man auch durch den Ausdruck NICHT bezeichnet.

Beispiele lassen sich ganz einfach dadurch finden, daß man zu einer gegebenen Aussage die entsprechende verneinte bzw. negierte Aussage sucht. Hat man etwa die Aussage

„Der Motor ist eingeschaltet" (abgekürzt durch *A*), so läßt sich die negierte Aussage ausdrücken durch

„Der Motor ist NICHT eingeschaltet" (abgekürzt z.B. durch *B*).

Man hat durch diese Negation also eine neue Aussage gewonnen, die man z.B. durch den Buchstaben *B* abkürzen kann. Auch *B* kann beide Werte 0 oder *L* annehmen, je nachdem, ob *B* „unwahr" oder „wahr" ist. Die negierte Aussage steht aber nun zur ursprünglichen Aussage in einer besonders engen Beziehung. Sie entsteht ja aus ihr durch einfaches Hinzufügen des Wortes NICHT und immer dann, wenn die eine Aussage „wahr" ist, also den Wert *L* besitzt, ist die andere „unwahr", also mit dem Wert 0 behaftet. Dies gilt ebenso umgekehrt. Dieser Zusammenhang ist in Bild 2/11 noch einmal verdeutlicht.

Um diese besondere Beziehung zwischen *A* und *B* auch symbolkräftig ausdrücken zu können, wird nun hierfür ein Zeichen benutzt, das durch Normung vereinbart wurde und in einem Querstrich über der negierten Aussage besteht:
NICHT $\Leftrightarrow$ ($\bar{}$) z.B. $\bar{A}$.

Motor eingeschaltet	Motor NICHT eingeschaltet
A	B
0	L
L	0

Bild 2/11. Beispiel für den Zusammenhang einer Aussage und ihrer NEGATION.

Die Negation der Aussage *A*, also die ursprünglich mit *B* abgekürzte Aussage „Der Motor ist nicht eingeschaltet", wird also dann mit

$B = \bar{A}$

abgekürzt. Man liest: *B* ist gleich „*A* nicht". Das Symbol der Negation ist in Bild 2/12 dargestellt. Man erkennt, daß es durch einen Punkt repräsentiert ist, der die jeweilige Variable als negiert kennzeichnet.

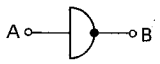
Negation	
Symbol	Formel
	$B = \bar{A}$

Bild 2/12. Symbol und Formelzeichen der NEGATION (NICHT).

Übung 2/5

Wie heißen die negierten Aussagen zu folgenden Aussagen:
1. Das Wasser ist heiß.
2. Es ist heute kalt.
3. Der Aufzug ist in der dritten Etage.
4. Der Endschalter hat angesprochen.

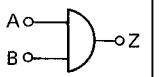
Darstellungsformen der Grundverknüpfungen auf einen Blick

Die „Grundverknüpfungen" UND, ODER sowie NICHT sind also in dieser Weise durchaus anschauliche Darstellungsformen von Beziehungen, die zwischen Aussagen sowohl des täglichen Lebens als auch z.B. bei technischen Zusammenhängen bestehen.

Es ist also besonders wichtig, sich diese Verknüpfungsarten gut einzuprägen. Sie sind daher in den Bildern 2/13, 2/14 und 2/15 noch einmal zusammengestellt. Betrachtet man die linken Seiten dieser drei Bilder, so kann man die behandelten, bekannten Zusammenhänge noch einmal auf einen Blick überschauen.

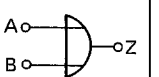
Die rechten Seiten dieser drei Bilder führen darüber hinaus zu einer zusätzlichen Darstellungsweise, zur Formulierung von Verknüpfungen zwischen Booleschen Variablen. Man erkennt, daß die hier auftretenden Variablen *A*, *B* und *Z* in einer tabellarischen Form angeordnet sind. Warum dies so gemacht werden kann, soll als nächster Punkt besprochen werden.

Die logischen Grundverknüpfungen auf einen Blick:

UND-Verknüpfung	
Symbol	Formel
	$Z = A \wedge B$

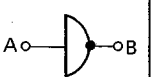
Funktionstabelle		
A	B	$Z = A \wedge B$
0	0	0
0	L	0
L	0	0
L	L	L

Bild 2/13. Symbol, Formel und Funktionstabelle der UND-Verknüpfung.

ODER-Verknüpfung	
Symbol	Formel
	$Z = A \vee B$

Funktionstabelle		
A	B	$Z = A \vee B$
0	0	0
0	L	L
L	0	L
L	L	L

Bild 2/14. Symbol, Formel und Funktionstabelle der ODER-Verknüpfung.

Negation	
Symbol	Formel
	$B = \bar{A}$

Funktionstabelle	
A	$B = \bar{A}$
0	L
L	0

Bild 2/15. Symbol, Formel und Funktionstabelle der NICHT-Operation.

Tabellendarstellungen erleichtern den Überblick

Schon eingangs war darüber gesprochen worden, daß es bei den Zusammenhängen zwischen Aussagen bzw. zweiwertigen Variablen abhängige und unabhängige Variable gibt. So führten etwa die drei Aussagen (vgl. S. 28 und Bild 2/4)

„Der Bürger ist erwachsen" (*A*),
„er ist deutscher Staatsbürger" (*B*),
„er ist nicht entmündigt" (*C*),

zu einer Entscheidung darüber, ob er bei einer Wahl in der Bundesrepublik Deutschland einen Wahlschein erhalten kann (*Y*).

Um den hier darzustellenden Zusammenhang nicht zu kompliziert zu gestalten, wollen wir annehmen, daß die Ausstellung des Wahlscheines nur von den beiden Bedingungen abhängig sein soll, daß

der Bürger erwachsen ist (abgekürzt durch *A*)

UND

daß er Deutscher ist (abgekürzt durch *B*).

Abhängig ist also hier die Aussage

Bürger kann Wahlschein erhalten.
(Sie sei mit *Z* abgekürzt).

Freie Aussagen sind die Aussagen *A* sowie *B*.

An dieser Stelle ist nun besonders leicht einzusehen, daß es für den beschriebenen Zusammenhang überhaupt nur 4 und nicht mehr Möglichkeiten gibt. Diese sind nur durch die vier Kombinationen zwischen den Werten der freien Variablen gegeben. Man kann sich ja leicht überlegen, daß nur folgende vier Fälle denkbar sind:

Daß weder *A* noch *B* erfüllt ist (1. Möglichkeit), oder daß sowohl *A* als auch *B* erfüllt sind (2. Möglichkeit), oder daß nur *A* erfüllt ist, *B* aber nicht (3. Möglichkeit), oder daß *A* nicht erfüllt und nur *B* erfüllt ist (4. Möglichkeit).

Eine 5. Möglichkeit ist nicht denkbar. Für die 4 genannten möglichen Fälle (also für die Werte der Kombinationen von zwei 2-wertigen Variablen) läßt sich aber nun eindeutig die abhängige Variable (sie sei hier mit *Z* benannt) mit ihrem jeweiligen Wert angeben. Genau diese Abhängigkeit ist nun für die UND-Verknüpfung auf der rechten Seite von Bild 2/13 dargestellt. Es handelt sich hierbei um eine Funktionstabelle. Die beiden linken Spalten A, B enthalten die Kombinationen (O,O), (O,L), (L,O) und (L,L).

Nur wenn sowohl A als auch B den Wert L besitzen, soll Z = L sein. Um im Beispiel zu bleiben: Nur wenn der Bürger erwachsen ist und wenn er gleichzeitig Deutscher ist, soll er (Z = L) einen Wahlschein erhalten dürfen.

Diesen Zusammenhang hatten wir bisher nur durch eine Formel oder durch ein Symbol beschrieben (linke Seite von Bild 2/13). Es ist offenbar aber auch möglich, den gleichen Zusammenhang durch eine entsprechende Tabelle darzustellen (rechte Seite von Bild 2/13). Man hat so eine 3. gleichwertige Darstellungsform für die Abhängigkeit einer abhängigen Variablen von freien Variablen gewonnen, die Darstellung in Form einer Funktionstabelle.

Auch für die ODER-Verknüpfung läßt sich eine Tabellenform angeben. Sie ist auf der rechten Seite von Bild 2/14 gezeigt. Z ist dann L, wenn *A* ODER *B* den Wert L aufweist.

Ebenso gilt dies für jede weitere Verknüpfungsform, z. B. für die in Bild 2/15 angegebene NEGATION. Auch hier findet man auf der rechten Seite die entsprechende Funktionstabelle.

Merke:
Der Zusammenhang zwischen Booleschen Variablen läßt sich darstellen
1. symbolisch,
2. durch eine Formel und
3. durch eine Funktionstabelle.

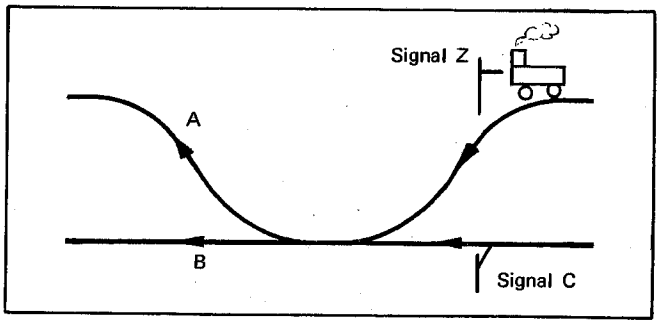


Bild 2/16. Gleis- und Signalbild einer Eisenbahnstrecke.

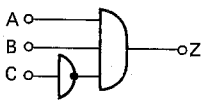
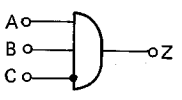
Formel	symbolische Darstellung	vereinfachtes Symbol
$Z = A \wedge B \wedge \bar{C}$		

Bild 2/17. Formel und symbolische Darstellung für das Signalbeispiel.

Funktionstabelle			
A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	L	0
0	L	0	0
0	L	L	0
L	0	0	0
L	0	L	0
L	L	0	L
L	L	L	0

Bild 2/18. Funktionstabelle für das Signalbeispiel.

Übung 2/6 ?

Welchen Wert hat die Variable *Z*, wenn die Strecke *A* frei, die Strecke *B* nicht frei und das Signal C geöffnet ist?

UND und NICHT treten gleichzeitig auf

Die bisher behandelten Beispiele haben die drei Grundoperationen UND, ODER, NICHT immer nur isoliert dargestellt. Meistens jedoch treten sie bei den Zusammenhängen von Aussagen, wie sie die Booleschen Variablen beschreiben, gemeinsam auf.

Ein Beispiel hierfür ist etwa die Signalsteuerung bei einer Eisenbahnstrecke. Bild 2/16 zeigt einen Gleisverlauf, der zwei im Bild von rechts herführende Gleise über eine gewisse Strecke zusammenführt und sich nach links hin in Richtung auf die Gleisstrecken *A* und *B* wieder verzweigt. Durch die bei *C* und *Z* vorhandenen Signale muß gewährleistet werden, daß der hier zusammenfließende Verkehr gegeneinander verriegelt wird.

Der hier auftretende Zusammenhang ist also der folgende:

Ein Zug auf dem Gleis mit dem Signal *Z* darf nur dann freie Fahrt bekommen, wenn
die Strecke *A* frei ist
UND
die Strecke *B* frei ist
UND
das Signal *C* NICHT geöffnet ist.

Wir haben also drei einzelne freie Aussagen, die wir mit *A*, *B* und $\bar{C}$ abkürzen können, sowie eine abhängige Aussage, die mit Z abgekürzt wird.
Die Lösung ist also gegeben durch die Formel
$Z = A \wedge B \wedge \bar{C}$.

Mit anderen Worten ausgedrückt heißt dies also:
Z ist dann gleich L (wahr), wenn *A* gleich L (wahr) ist und *B* gleich L (wahr) ist und *C* nicht gleich L (also unwahr) ist. Die Forderung *C* nicht gleich L bedeutet aber, daß *C* gleich 0 sein muß. Im Beispiel heißt dies, daß das Signal *C* nicht geöffnet sein darf, also einem einfahrenden Zug die Einfahrt versperrt.

Es gibt auch hier wieder drei unabhängige Variablen *A*, *B*, *C* und eine abhängige Variable *Z*.

Die drei unabhängigen Variablen *A*, *B*, *C* können nun in diesem Fall insgesamt acht verschiedene Wertekombinationen der Werte O bzw. L bilden. Für jede dieser acht Kombinationen muß die Variable Z einen bestimmten Wert aufweisen. Die hierbei auftretenden Zusammenhänge lassen sich ebenso, wie sie formelmäßig oder symbolisch in Bild 2/17 dargestellt sind, auch mit einer, in diesem Fall die acht Kombinationen der Variablen *A*, *B*, *C* umfassenden Tabelle darstellen. Sie ist in Bild 2/18 gezeigt.

Zusammenhänge zwischen Booleschen Variablen lassen sich, wie gezeigt wurde, durch Formel, Symbol oder Tabelle ausdrücken. Wenn aber schon die Möglichkeit besteht, Formeln für diese Abhängigkeit aufzustellen, sollte auch eine Anzahl von Rechengesetzen existieren, mit denen man diese Formeln „umrechnen" kann.

Dies ist tatsächlich der Fall, und Rechengesetze der „Booleschen Algebra" oder „Schaltalgebra", wie man das mathematische Gebäude nennt, das sich mit solchen Zusammenhängen zwischen zweiwertigen Aussagen beschäftigt, sollen nun behandelt werden.

Hierzu kann man sich einer Methode bedienen, die – gewissermaßen – eine 4. Möglichkeit der Darstellung solcher Aussagen-Zusammenhänge bildet. Gemeint ist hier die Abbildung von zweiwertigen Variablen auf „Punktmengen". Eine solche Punktmenge umfaßt alle beliebigen Punkte einer durch eine Kontur umgrenzten Fläche. Die in Bild 2/19 dargestellte Punktmenge, die mit *A* bezeichnet ist, wurde etwa durch die Schraffur besonders hervorgehoben.

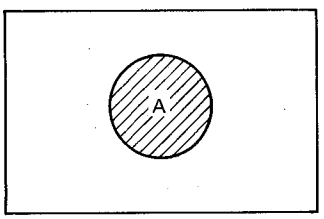


Bild 2/19.
Punktmenge der Variablen *A*.

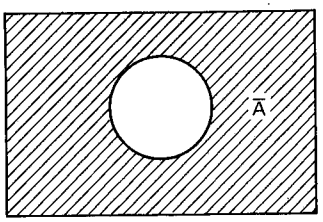


Bild 2/20.
Punktmenge der Variablen $\bar{A}$.

Dies wird anhand der Bilder 2/19 bzw. 2/20 veranschaulicht. Bild 2/19 zeigt, daß alle Punkte, die den Wert der Variablen *A* haben, in einem Kreis zusammengefaßt sind. Man ordnet also der Variablen *A* eine Punktmenge zu, die durch die Kreislinie begrenzt wird.

Merke:
Das Symbol der Punktmenge einer unabhängigen Variablen ist eine umgrenzte Fläche.

Bild 2/20 macht deutlich, daß alle Punkte außerhalb des Kreises der negierten Variablen $\bar{A}$ zugeordnet werden dürfen. Man befindet sich ja „NICHT" in dem der Variablen *A* zugeordneten Bereich.

Merke:
Das Symbol der Punktmenge einer unabhängigen negierten Variablen ist die Fläche außerhalb der umgrenzten Fläche.

Abbildung von Booleschen Variablen auf Punktmengen

Die Rechengesetze der Schaltalgebra lassen sich aber nun sehr einfach darstellen, wenn man die Variablen einer Booleschen Verknüpfung durch derartige Punktmengen veranschaulicht. Zunächst ist wichtig, daß man jeder zweiwertigen Variablen (z. B. *A*) eine Punktmenge zuordnen kann. Die Zweiwertigkeit drückt sich einfach dadurch aus, daß man ja stets die Frage beantworten kann, ob man sich innerhalb oder außerhalb dieser Punktmenge befindet.

Man kann also den Wert (z. B. L oder O) einer Variablen dadurch bestimmen, daß man sich fragt, ob man sich in dem ihr zugeordneten Punktmengenfeld befindet oder nicht. Ist dies der Fall, so besitzt sie den Wert L, im anderen Fall den Wert O.

Übung 2/7 ?

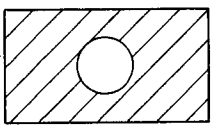


Bild I

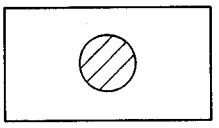


Bild II

Die schraffierten Flächen von Bild I und II symbolisieren die Punktmengen einer unabhängigen Variablen. Ordnen Sie diesen Bildern die entsprechenden Variablen *B* und $\bar{B}$ zu.

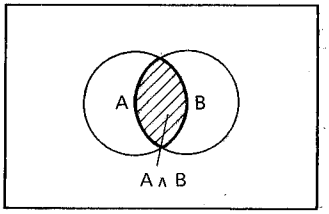


Bild 2/21. Schraffierte Fläche bedeutet Durchschnittsmenge, $A \wedge B$ (UND).

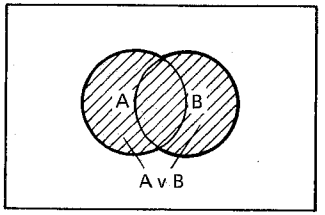


Bild 2/22. Schraffierte Fläche bedeutet Vereinigungsmenge, $A \vee B$ (ODER).

Grundverknüpfungen in Punktmengendarstellung

Um die Zusammenhänge zwischen zwei Booleschen Variablen A und B darzustellen, ist es bei der Punktmengendarstellung erforderlich, die ihnen zugeordneten Punktmengen durch eine gewisse Überschneidung ebenfalls zueinander in Beziehung zu setzen. Dies ist in Bild 2/21 gezeigt.

Hier gibt es etwa eine gewisse Anzahl von Punkten, die den Mengen A und B gleichzeitig angehören. Diese gemeinsamen Punkte nennt man Durchschnitt der Punktmengen A und B oder auch Durchschnittsmenge. Der im Bild 2/21 schraffierte Bereich ist also dem Ausdruck $A \wedge B$ zugeordnet (UND-Verknüpfung).

Fragen wir dementsprechend, wo wir uns befinden, wenn wir auf dem schraffierten Bereich von Bild 2/22 sind, so erkennen wir, daß wir uns im zu A ODER im zu B zugeordneten Punktmengenbereich befinden. Dieser schraffierte Bereich bildet also folgerichtig die ODER-Verknüpfung $A \vee B$ ab.

Man erkennt, daß die ODER-Verknüpfung zweier Boolescher Variablen durch die „Vereinigung" beider zugeordneter Punktmengen abgebildet wird, während bei der UND-Verknüpfung die Bildung des „Durchschnitts" erforderlich war.

Merke:
Die UND-Verknüpfung wird durch den Durchschnitt, die ODER-Verknüpfung durch die Vereinigung der zugeordneten Punktmengen dargestellt.

Übung 2/8

a) Wie sieht die Schraffur zum Ausdruck $A \wedge \bar{B}$ aus?

b) Wie sieht die Schraffur zum Ausdruck $\bar{A} \vee \bar{B}$ aus?

Punktmengen veranschaulichen Boolesche Rechengesetze

Die die Zusammenhänge zwischen zweiwertigen Variablen ausdrückenden Formeln lassen sich durch Rechengesetze verarbeiten, d. h. in gewünschter Weise umrechnen. Die Gesamtheit dieser Rechengesetze bezeichnet man als die sog. Boolesche Algebra. Es gibt eine ganze Reihe derartiger Boolescher Rechenregeln, von denen nur die eine oder andere anhand der beschriebenen Punktmengendarstellung abgeleitet werden soll. Alle anderen Rechenregeln sind ganz entsprechend beweisbar.

Veranschaulichung des sog. zweiten Verteilungsgesetzes durch Punktmengen

Ein besonders wichtiges Gesetz ist das sog. Verteilungsgesetz. Man nennt es auch Distributivgesetz. Hierzu sei der Ausdruck
$(A \vee B) \wedge (A \vee C)$
als Punktmenge dargestellt. In Bild 2/23 links sind zunächst die beiden Verknüpfungen $(A \vee B)$ sowie $(A \vee C)$ angegeben. Durch die oben genannte Beziehung sollen diese beiden Teilausdrücke $(A \vee B)$ sowie $(A \vee C)$ mit einer UND-Verknüpfung verbunden werden. Aufgrund der zuletzt genannten Merkregel ist bekannt, daß die UND-Verknüpfung durch die Durchschnittsbildung realisiert wird. Um den Ausdruck
$(A \vee B) \wedge (A \vee C)$
abzubilden, denkt man sich die beiden Schraffuren übereinandergelegt. Dies ist im rechten oberen Diagramm von Bild 2/23 durchgeführt. Die UND-Verknüpfung der Ausdrücke $(A \vee B)$ sowie $(A \vee C)$ wird aufgrund der Merkregel dadurch gebildet, daß diejenigen Teile des Diagramms aufgesucht werden, die sowohl die erste als auch die zweite Schraffur tragen. Bild 2/23 hebt diese doppelte Schraffur im rechten unteren Diagramm durch eine senkrechte Schraffur noch einmal besonders hervor. Sie entspricht dem abzubildenden Term:
$(A \vee B) \wedge (A \vee C)$.

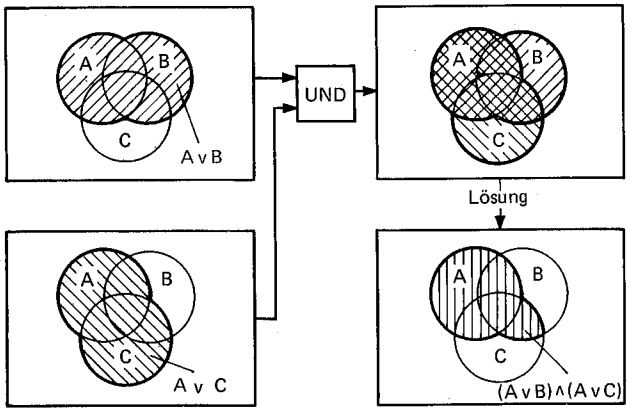


Bild 2/23. Darstellung des Ausdrucks $(A \vee B) \wedge (A \vee C)$.

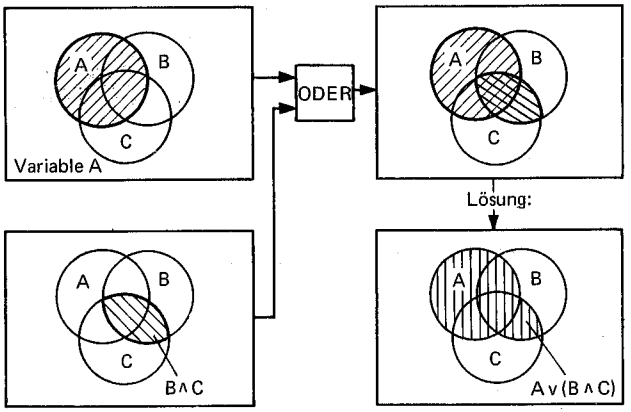


Bild 2/24. Darstellung des Ausdruckes $A \vee (B \wedge C)$.

In gleicher Weise soll nun der Ausdruck
$A \vee (B \wedge C)$
auf eine Punktmenge abgebildet werden. Aber versuchen Sie das doch einmal, bevor Sie weiterlesen, selbst zu tun.

Bild 2/24 zeigt, wie zunächst der Teilausdruck A, dann der Teilausdruck $(B \wedge C)$ als Schraffur dargestellt werden kann, sowie schließlich (Bild 2/24 rechts oben) beide Schraffuren übereinander gelegt werden. Da die Ausdrücke A bzw. $(B \wedge C)$ aber nun mit einer ODER-Verknüpfung zu verbinden sind, muß aufgrund der Merkregeln derjenige Teil schraffiert werden, der die Vereinigung beider Teilmengen bildet. Das rechte untere Diagramm von Bild 2/24 zeigt also die zum Term $A \vee (B \wedge C)$ gehörige Schraffur.

Vergleicht man die Schraffur, die sich in Bild 2/23 für den Ausdruck $(A \vee B) \wedge (A \vee C)$ ergeben hat, mit der Schraffur, die sich in Bild 2/24 für den Ausdruck $A \vee (B \wedge C)$ ergeben hat, so stellt man Identität fest. Es muß also gelten
$(A \vee B) \wedge (A \vee C) = A \vee (B \wedge C)$.

Dies ist das sog. zweite Distributivgesetz, das neben einer Anzahl weiterer Rechenregeln für die Verarbeitung von Formeln der Booleschen Algebra besonders wichtig ist.

Übung 2/9 ?

Wie kann man durch den Vergleich von Schraffuren zeigen, daß das Verteilungsgesetz $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ gilt?

Ableitung von Rechenregeln mit Funktionstabellen

Anhand der Darstellung durch Punktmengen lassen sich die wichtigsten Rechenregeln der Booleschen Algebra besonders anschaulich darstellen. In manchen praktischen Fällen ist die Beziehung zwischen zweiwertigen Variablen aber schon von vornherein durch Tabellen gegeben; dies ist eine andere, gleichwertige Möglichkeit, solche Zusammenhänge auszudrücken. Man kann nun zeigen, daß sich auch Rechenregeln anhand derartiger

A	B	A∧B	A∨B	$\bar{A}$	$\bar{B}$		$\overline{A \wedge B}$
0	0	0	0	L	L	.....	L
0	L	0	L	L	0		L
L	0	0	L	0	L		L
L	L	L	L	0	0		0

Bild 2/25. Tabellendarstellung von Verknüpfungs-Ausdrücken.

A	B	A∧B	A∨B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\overline{A \wedge B}$	$\overline{A \vee B}$	$\bar{A} \wedge \bar{B}$	$\bar{A} \vee \bar{B}$
0	0	0	0	L	L	L	L	L	L
0	L	0	L	L	0	L	0	0	L
L	0	0	L	0	L	L	0	0	L
L	L	L	L	0	0	0	0	0	0

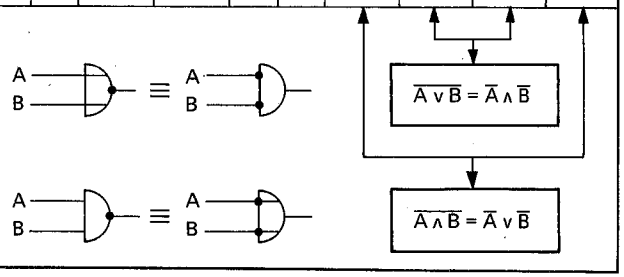


Bild 2/26. Tabellenermittlung der De Morganschen Regeln.

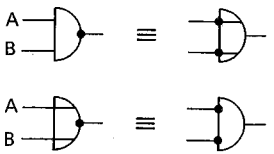
Übung 2/10 ?

Wie läßt sich mit Hilfe von Tabellen zeigen, daß gilt:
$A \vee (A \wedge B) = A$,
$A \wedge (A \vee B) = A$.
Lösungsansatz: Ergänzen Sie folgende Tabelle:

A	B	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \vee (A \wedge B)$	$A \wedge (A \vee B)$
O	O				
O	L				
L	O				
L	L				

Tabellendarstellungen herleiten lassen. Bild 2/25 etwa zeigt die bekannten Zusammenhänge der UND- und der ODER-Verknüpfung, ergänzt um zwei weitere Spalten, die die Bezeichnung $\bar{A}$ und $\bar{B}$ tragen. Es ist sofort einzusehen, daß überall dort, wo in der Spalte für A eine 0 steht, in der Spalte für $\bar{A}$ ein L zu setzen ist und umgekehrt. Gleiches gilt für alle weiteren Verknüpfungen, die sich aus dieser Tabelle entwickeln lassen. Als Beispiel ist etwa nach rechts eine Spalte $\overline{A \wedge B}$ angefügt, deren Werte 0 bzw. L sich mühelos durch NEGATION der entsprechenden Werte der in der Tabelle weiter links angegebenen Verknüpfung $A \wedge B$ gewinnen lassen. Bild 2/26 zeigt eine auf diese Weise erweiterte Tabelle, anhand derer man durch den Vergleich von jeweils zwei, dort näher bezeichneten Spalten die beiden Gesetze

$$\overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B} \qquad \overline{A \vee B} = \bar{A} \wedge \bar{B}$$



ablesen kann, die den Namen De Morgansche Regeln tragen.

Zusammenstellung der wichtigsten Rechenregeln

Es wurde gezeigt, wie sich die Rechenregeln der Verknüpfung zweiwertiger Variablen gewinnen lassen. Bild 2/27 bringt eine Zusammenstellung der wichtigsten dieser Gesetze, von denen man sich die meisten möglichst genau einprägen sollte. Übungshalber empfiehlt es sich, die bisher nicht bewiesenen Gesetze mit Hilfe der behandelten Methoden selbst herzuleiten.

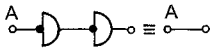
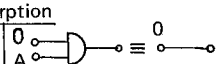
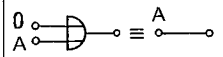
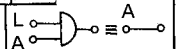
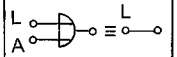
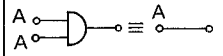
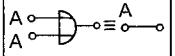
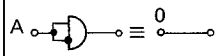
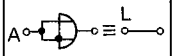
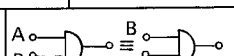
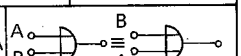
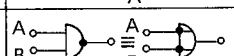
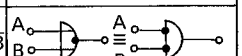
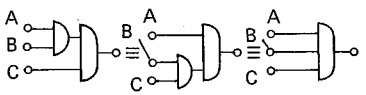
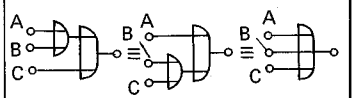
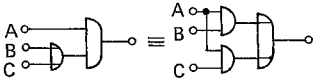
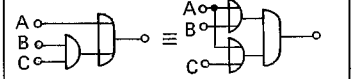
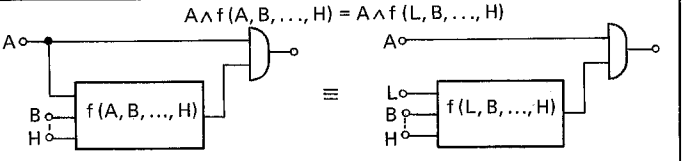
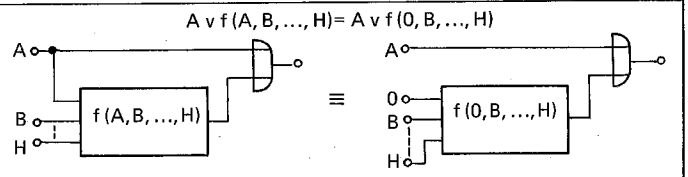
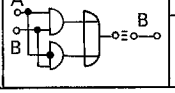
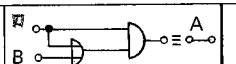
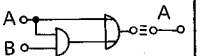
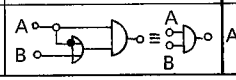
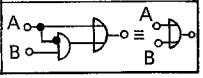
0 Variable	NEGATION	$\overline{0} = L$		$\overline{L} = 0$
	UND	$0 \wedge 0 = 0$	$0 \wedge L = L \wedge 0 = 0$	$L \wedge L = L$
	ODER	$0 \vee 0 = 0$	$0 \vee L = L \vee 0 = L$	$L \vee L = L$
1 Variable	doppelte Negation (doppelte Verneinung) $\overline{\overline{A}} = A$ 	Absorption $0 \wedge A = 0$ 	$0 \vee A = A$ 	Absorption $L \wedge A = A$  $L \vee A = L$ 
	Tautologie	$A \wedge A = A$ 		$A \vee A = A$ 
	Negation (Verneinung, Komplement)	$A \wedge \overline{A} = 0$ 		$A \vee \overline{A} = L$ 
2 Variable	Vertauschungsgesetz (Kommutativgesetz)	$A \wedge B = B \wedge A$ 		$A \vee B = B \vee A$ 
	Gesetz von De Morgan	$\overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$ 		$\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B}$ 
3 Variable	Verbindungsgesetz (Assoziativgesetz)	$(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C) = A \wedge B \wedge C$ 		$(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C) = A \vee B \vee C$ 
	Verteilungsgesetz (Distributivgesetz)	$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ 		$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$ 
Sonderformeln	Vereinfachungssätze mit Sonderformeln	$A \wedge f(A, B, \ldots, H) = A \wedge f(L, B, \ldots, H)$ 		
		$A \vee f(A, B, \ldots, H) = A \vee f(0, B, \ldots, H)$ 		
	$(A \wedge B) \vee (\overline{A} \wedge B) = B$ 	$A \wedge (A \vee B) = A$ 		$A \vee (A \wedge B) = A$ 
		$A \wedge (\overline{A} \vee B) = A \wedge B$ 		$A \vee (\overline{A} \wedge B) = A \vee B$ 

Bild 2/27. Zusammenstellung wichtiger Rechenregeln. Priorität (Vorrang) der Ausrechnung, sofern nicht durch Klammern eine andere Reihenfolge vorgeschrieben wird, gilt UND vor ODER.

Übungsbeispiel:

Als Beispiel sei die Verknüpfung behandelt, die darüber entscheidet, ob sich bei einem Großraumwagen der Straßenbahn eine Ausstiegstür öffnen darf oder nicht, Bild 2/28. Dies hängt im Normalbetrieb, d. h., wenn der zum Öffnen erforderliche Druck des pneumatischen Kraftsystems vorhanden ist, sicher davon ab, ob überhaupt ein Fahrgast durch einen Knopfdruck die Absicht des Aussteigens bekundet hat. Es hängt sicher auch davon ab, ob der Fahrer das Öffnen frei gibt oder nicht. Hier wird ein Ausdruck mit UND-Verknüpfung zu erwarten sein. In Notfällen aber, wenn z. B. der Wagen nach einem Unfall schnell verlassen werden muß, soll die Tür auch ohne Freigabe durch den Fahrer zu öffnen sein. Dies kann z. B. durch einen Umschaltvorgang an der Tür etwa auf einen besonderen Hilfsluftenergiekreis bewirkt werden. Im einzelnen wird man die Bedingungen etwa folgendermaßen ausdrücken können:

Ausstiegstür darf aufgehen (Z) (Normalfall), wenn
der Ausstiegsknopf betätigt wird (A)
UND
der Fahrer das Öffnen freigibt (B),
UND
das normale pneumatische Kraftsystem in Betrieb ist (C)
ODER (Sonderfall defektes Drucksystem), wenn
der Ausstiegsknopf betätigt wird (A)
UND
der Fahrer das Öffnen freigibt (B)
UND
das normale pneumatische System NICHT in Betrieb ist ($\bar{C}$)
UND
das pneumatische Hilfssystem in Betrieb ist (D)
ODER (Gefahrensituation), wenn
der Fahrer das Öffnen NICHT freigibt ($\bar{B}$)
UND
der Ausstiegsknopf betätigt wird (A)
UND
vom normalen pneumatischen System auf das auch für Gefahrenfälle zuständige Hilfssystem umgeschaltet wurde ($\bar{C} \wedge D$).

In einer Formel ausgedrückt, wird aus diesem langen Satz
$Z = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C} \wedge D) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge D)$.

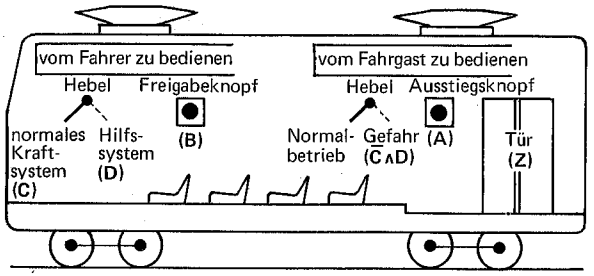


Bild 2/28. Innenraum eines Straßenbahnwaggons. Tür öffnet sich: $Z = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C} \wedge D) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge D)$.

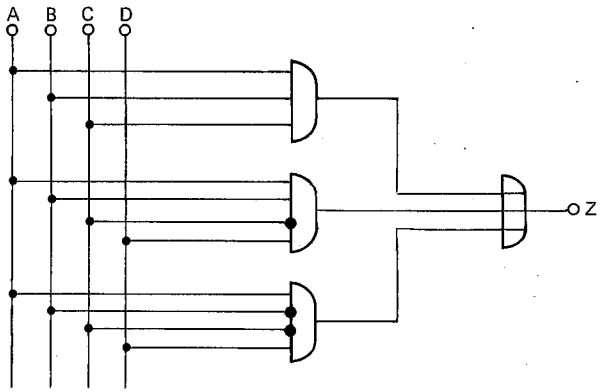


Bild 2/29. Symbolische Darstellung der Schaltfunktion Z.

Schaltungsvereinfachung (vgl. auch Kap. 3)

Eine Veranschaulichung in symbolischer Darstellung ist in Bild 2/29 angegeben. Durch mathematische Umformung läßt sich die Schaltung wesentlich vereinfachen. Die beiden letzten Klammern lassen sich durch Anwendung des Gesetzes

$(E \vee \bar{E}) \wedge (F) = (E \wedge F) \vee (\bar{E} \wedge F)$ (Verteilungsgesetz)

umformen zu

$(A \wedge B \wedge \bar{C} \wedge D) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge D) = (A \wedge \bar{C} \wedge D) \wedge (B \vee \bar{B})$.

Es gilt aber stets, wie man aus der Übersicht von Bild 2/27 (oben) entnehmen kann,
$B \vee \bar{B} = L$,
so daß bei dem begonnenen Umformungsprozeß
$(A \wedge \bar{C} \wedge D) \wedge L$
entsteht: Der besseren Übersicht wegen sei vorübergehend der Ausdruck $(A \wedge \bar{C} \wedge D)$ mit G bezeichnet, d. h. es besteht das Problem der Lösung des Ausdrucks
$G \wedge L = ?$

Nach dem Gesetz der Absorption (vgl. Bild 2/27) ist
$G \wedge L = G$,
das heißt, daß
$(A \wedge \bar{C} \wedge D) \wedge L = A \wedge \bar{C} \wedge D$ wird.
Die beiden Klammern des Ausdrucks $(A \wedge \bar{C} \wedge D) \wedge (B \vee \bar{B})$ können also in Ausdruck
$A \wedge \bar{C} \wedge D$
zusammengefaßt werden.
Die zunächst aus der Problemstellung gewonnene Formel für Z kann also nun kürzer geschrieben werden als
$Z = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{C} \wedge D)$.

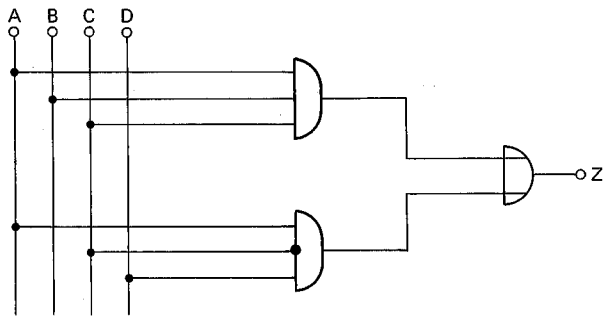


Bild 2/30. Symbolische Darstellung der vereinfachten Funktion Z.

Bild 2/30 zeigt die symbolische Darstellung von Z, aus der sich durch Vergleich mit Bild 2/29 sofort ablesen läßt, daß durch die Anwendung der Rechenregeln offenbar eine sehr starke Vereinfachung erreicht werden konnte. Diese Vereinfachung hat aber gerade bei der technischen Realisierung solcher Verknüpfungen eine nicht geringe Bedeutung bekommen.

Übung 2/11

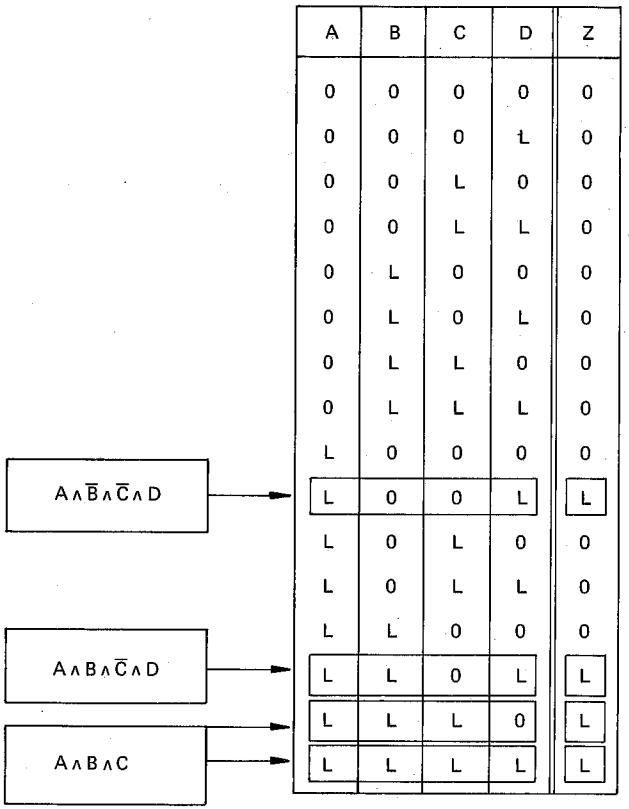
$G = (H \wedge K \wedge \bar{M}) \vee (\bar{H} \wedge K \wedge \bar{M})$ sei gegeben.
Wie läßt sich G durch Anwendung von Rechenregeln vereinfachen, und wie sehen die Symbolpläne der ursprünglichen und der vereinfachten Funktion aus?

Übung 2/12

Wie sehen die Funktionstabelle und der Symbolplan der Funktion $Y = (A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$ aus? Läßt sie sich vereinfachen?

Im behandelten Beispiel sind A, B, C, D freie Variablen, Z ist abhängige Variable. Abhängige Variablen bezeichnet man in der Mathematik auch als Funktionen. Es sind Funktionen der unabhängigen Variablen. Funktionen der hier behandelten Art, also solche, die von zweiwertigen Variablen abhängen und selbst zweiwertig sind, bezeichnet man als Boolesche Funktionen oder, falls sie in einem technischen Zusammenhang auftauchen, auch als Schaltfunktionen.

Merke:
Zweiwertige abhängige Variablen werden Boolesche Funktionen oder Schaltfunktionen genannt.



A	B	C	D	Z
0	0	0	0	0
0	0	0	L	0
0	0	L	0	0
0	0	L	L	0
0	L	0	0	0
0	L	0	L	0
0	L	L	0	0
0	L	L	L	0
L	0	0	0	0
L	0	0	L	L
L	0	L	0	0
L	0	L	L	0
L	L	0	0	0
L	L	0	L	L
L	L	L	0	L
L	L	L	L	L

Bild 2/31. Funktionstabelle zur Funktion Z.

Die wichtigsten Darstellungsarten solcher Funktionen sind bereits behandelt worden; es sind die Formel, der Symbolplan und die Funktionstabelle. Bild 2/31 zeigt, wie die Funktionstabelle aus der ursprünglichen Form von
$Z = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C} \wedge D) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge D)$,
vgl. auch Bild 2/29, entwickelt werden kann. Sie enthält, da hier 4 freie Variablen auftauchen, insgesamt $2^4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$ Zeilen, die den 16 möglichen Wertkombinationen für 4 Variablen entsprechen. Die zur Funktion Z gehörigen Terme sind links an der Tabelle angegeben.
Man erkennt, daß zu dem Term $A \wedge B \wedge C$, also der Wertekombination (A = L, B = L und C = L) die letzten beiden Zeilen der Tabelle gehören. Da der Term in der Formel zu Z enthalten ist, muß hier also in der Tabelle Z = L eingetragen werden. Entsprechend gehören zu den Termen $A \wedge B \wedge \bar{C} \wedge D$ beziehungsweise $A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge D$ die Wertekombinationen (A = L; B = L; C = 0; D = L) bzw. (A = L; B = 0; C = 0; D = L), in der Tabelle entsprechend also die drittletzte bzw. siebtletzte Zeile. In diesen Zeilen ist ebenfalls Z = L einzutragen.
Da die Formel keine weiteren Terme enthält, wird in der Tabelle in allen anderen Zeilen Z = 0 eingetragen.

(Zur Entwicklung der Schaltfunktion aus der Funktionstabelle siehe auch Kap. 3 Seite 58 und 61.)

Übung 2/13 **Formale Übung**

a) In Bild 2/27 ist als Sonderformel angegeben
$(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge B) = B$.
Zeigen Sie dies anhand eines Punktmengendiagramms.

b) Falls Ihnen Übung a) nicht gelungen ist, versuchen Sie dasselbe für die Formel
$A \vee (\bar{A} \wedge B) = A \vee B$.

c) Wenden Sie das erste bzw. linke Vertauschungsgesetz, das erste bzw. linke Verteilungsgesetz, das zweite bzw. rechte Komplementgesetz sowie das erste Absorptionsgesetz aus Bild 2/27 an, um die in Übung a) angegebene Formel nachzuweisen.

d) Falls Ihnen Übung c) nicht gelungen ist, versuchen Sie den Beweis der Formel aus Übung b) mittels des zweiten bzw. rechten Verteilungsgesetzes, des zweiten bzw. rechten Komplementgesetzes und des ersten bzw. oberen Absorptionsgesetzes aus Bild 2/27.

e) Führen Sie den Nachweis für die Formel aus Übung a) anhand einer Funktionstabelle.

f) Falls Ihnen Übung e) nicht gelungen ist, versuchen Sie dasselbe für die Formel aus Übung b).

g) In Bild 2/27 sind u. a. zwei Sonderformeln angegeben
$A \wedge (A \vee B) = A$,
$A \wedge f(A, B, \ldots H) = A \wedge f(L, B, \ldots H)$.
Überlegen Sie, daß die erste dieser beiden Formeln nur ein Sonderfall der zweiten ist, falls Sie in ihr $f(A, B, \ldots H) = f(A, B) = A \vee B$ setzen und das Absorptionsgesetz berücksichtigen.

h) Falls Ihnen Übung 2/13 g) mißlungen ist, versuchen Sie dasselbe mit
$A \vee (\bar{A} \wedge B) = A \vee B$ und $A \vee f(A, B, \ldots H) = A \vee f(0, B, \ldots H)$,
wobei Sie $f(A, B) = \bar{A} \wedge B$ setzen.

i) Die Formel $A \wedge f(A, B, \ldots H) = A \wedge f(L, B, \ldots H)$ besagt, daß man in einer derartigen UND-Verknüpfung die Variable A in $f(A, B, \ldots H)$ durch den Wert L ersetzen kann. Nun kann in dieser Formel die binäre Variable A nur die Werte 0 oder L annehmen. Die Formel ist also richtig, wenn sowohl für $A = 0$ als auch für $A = L$ die linke und die rechte Seite gleich sind. Schreiben Sie die Formel für beide Fälle hin und überprüfen dies. (Das Absorptionsgesetz aus Bild 2/27 beachten. Nach spätestens fünfminütigem Versuch die Lösung anschauen!)

k) Falls Ihnen Übung 2/13 i) mißlungen ist, versuchen Sie dasselbe mit der Formel
$A \vee f(A, B, \ldots H) = A \vee f(0, B, \ldots H)$.
Sie besagt, daß man in einer solchen ODER-Verknüpfung die Variable A in $f(A, B, \ldots H)$ durch den Wert 0 ersetzen kann.

Übung 2/14 **Verständnisübung**

Verschiedene Bezeichnungen für denselben Begriff.

In Kap. 2 haben Sie grundlegende Begriffe der Booleschen- bzw. Schaltalgebra kennengelernt. Für denselben Begriff sind jeweils mehrere Bezeichnungen gebräuchlich. Eine Reihe solcher Bezeichnungen ist im folgenden alphabetisch aufgeführt:

Abhängige Variable, Ausgangsgröße, Ausgangsvariable, Aussage, Binäre Variable, Binärer Wert, Boolesche Funktion, Boolesche Variable, Boolescher Wert, Darstellung von Schaltfunktionen, Eingangsgröße, Eingangsvariable, Erfüllt, Falsch, Formel, Freie Variable, Funktion von einer Variablen, Funktion von mehreren Variablen, Funktionstabelle, L, Logikplan, Logische Variable, Logischer Wert, Nicht erfüllt, NICHT-Verknüpfung, 0, ODER-Verknüpfung, Punktmengendiagramm einer logischen Funktion, Richtig, Schaltfunktion, Schaltplan, Schaltsymbol, Schaltvariable, Schaltzeichen, Symbolplan, Unabhängige Variable, UND-Verknüpfung, Unwahr, Verknüpfung, Wahr, Zweiwertige Variable.

a) Fassen Sie solche Bezeichnungen, die zum selben Begriff gehören, zu Gruppen zusammen.

b) Kennzeichnen Sie durch Pfeile den Übergang vom Oberbegriff (z. B. logische Variable) zu Unterbegriffen (z. B. unabhängige Variable und abhängige Variable).

c) Aussage und Aussage.
Im landläufigen Sinne ist folgender Satz eine Aussage: „In Australien ist es heißer als in Algerien." Warum ist das keine Aussage im Booleschen Sinne?

Übung 2/15 **Verständnisübung**

Prioritäten in der Ausrechnung von Formeln.

a) Auf Anhieb ist es nicht ersichtlich, daß die beiden Produkte $91 \cdot 5$ und $7 \cdot 65$ gleich sind. Allerdings empfindet man ihre Gleichheit als selbstverständlich, wenn man statt dessen $(7 \cdot 13) \cdot 5$ und $7 \cdot (13 \cdot 5)$ betrachtet. Man hat sich nämlich daran gewöhnt, daß man mehrfache Produkte – übrigens auch Summen – in beliebiger Reihenfolge ausrechnen kann, und daß dabei immer dasselbe herauskommt. Daher läßt man ja auch in diesen Fällen die Klammern, durch die die Priorität der Ausrechnung festgelegt wird, meist weg.

In Bild 2/27 sind zwei Formeln angegeben, die für die Boolesche Algebra eine ähnliche Bedeutung haben. Wie lauten diese beiden Formeln, und was bedeuten sie?

b) Wenn in einer mehrfachen UND-Verknüpfung eine einzige Variable einen bestimmten Wert hat, so kennt man den Wert der gesamten UND-Verknüpfung. Welcher Wert ist es?

c) Wenn in einer mehrfachen ODER-Verknüpfung eine einzige Variable einen bestimmten Wert hat, so kennt man den Wert der gesamten ODER-Verknüpfung. Welcher Wert ist es?

d) Daß die Reihenfolge der Ausrechnung in bestimmten Fällen durch Klammern festgelegt werden muß, erkennt man am folgendem Beispiel des numerischen Rechnens:
Zuerst mal: $(3 \cdot 5) + 2 = 17$,
zuerst plus: $3 \cdot (5 + 2) = 21$, was falsch ist.
Ersetzen Sie hier die Zahlen durch logische Werte 0 bzw. L, das Malzeichen durch $\wedge$ und das Pluszeichen durch $\vee$. Konstruieren Sie so ein Beispiel, bei dem die Endergebnisse je nach Klammersetzung unterschiedlich sind.

e) Im ersten Zahlenbeispiel der Übung 2/15 d) könnte man nach der Regel „Punkt-vor-Strichrechnen" die Klammern weglassen und einfach schreiben $3 \cdot 5 + 2$. Ähnlich sind in der Booleschen Algebra zur Vermeidung von Klammern folgende Übereinkünfte üblich:
- NICHT vor UND vor ODER,
- übergreifender Negationsstrich wirkt wie Klammern.

Bestimmen Sie gemäß den Prioritätsregeln schrittweise den Wert folgender Formel, wobei in jeder Zeile nur solche Rechenschritte ausgeführt werden dürfen, die voneinander unabhängig sind:

$(\overline{A} \vee C) \wedge (A \wedge \overline{B} \vee \overline{B \vee \overline{C}})$					
A=0	C=L	A=0	B=0	B=0	C=L
$\overline{0}$=L					$\overline{L}$=0
L v L = L					

Übung 2/16 **Fallstudie**

Anhand von Bild 2/16 wurden in etwas vereinfachter Form die Bedingungen für die Freigabe der Einfahrt an dem von oben rechts kommenden Gleis betrachtet. Beziehen Sie in die Überlegung die Weichenstellung und die Alternative ein, daß die Ausfahrt über jeden der beiden linken Gleisanschlüsse erfolgen kann. Außerdem muß das Signal Z im Stellwerk eigens betätigt werden.

a) Formulieren Sie die notwendigen Aussagen und bezeichnen dazu die logischen Variablen.

b) Entwickeln Sie aus den unabhängigen Aussagen von Übung 2/16 a) anhand der logischen Grundverknüpfungen in Worten die abhängige Aussage Z
„Signal Z gibt Durchfahrt frei (Z), wenn . . ."
und geben anschließend die zugehörige Formel $Z = \ldots$ an.

c) In der angegebenen Lösung von Übung 2/16 b) kommen zwei Gruppen von jeweils untereinander UND-verknüpften Aussagen vor. Die beiden Gruppen sind ODER-verknüpft. Versuchen Sie eine Aussage zu formulieren, die RICHTIG ist, wenn sämtliche UND-verknüpften Aussagen der ersten Gruppe jeweils RICHTIG sind. (Diese Aussage wird im folgenden als logische Variable P geführt.) Geben Sie die Formel für P an.

d) Formulieren Sie eine analoge Aussage – Variable Q – für die zweite Aussagengruppe der Lösung von Übung 2/16 b) und formulieren nunmehr Z als ODER-Verknüpfung von zwei Aussagen. Geben Sie für Q und Z die entsprechenden Formeln an.

e) Statt der Aussagen P und Q könnte man folgende Aussage R einführen:
„Ausfahrt nach links hin ist frei".
Kombinieren Sie diese Aussage als abhängige aus den unabhängigen Aussagen und geben die entsprechende Formel an.

f) Formulieren Sie mittels der Aussage R in Übung 2/16 e) erneut die Aussage Z und geben die zugehörige Formel an.

g) Setzen Sie in der Formel für Z in der Lösung der Übung 2/16 f) die Formel für R aus Übung 2/16 e ein (Priorität!). Wie hätte man diesen Ausdruck für Z unmittelbar aus der Formel für Z der Lösung von Übung 2/16 b) erhalten können?

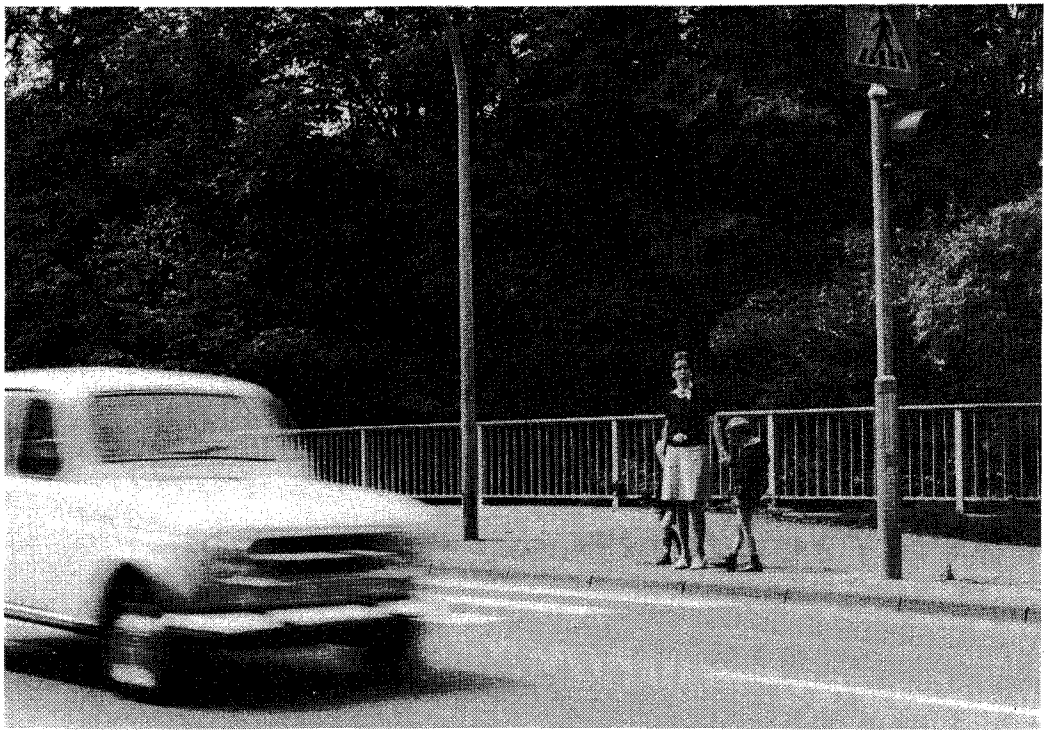
h) In der Lösung der Übung 2/16 g) kommt die UND-Verknüpfung $T \wedge \overline{C} \wedge W$ vor. Welche Aussage (Variable E) könnte man dem unterlegen?

i) Entwerfen Sie für Z als Ausgangsvariable einen Schaltplan mit den Eingangsvariablen A, B, C, T, V, W, in dem P und Q als Ausgangsgrößen je eines UND-Gatters erscheinen.

k) Interpretieren Sie die Priorität in der Formel für Z aus der Lösung der Übung 2/16 b) anhand des Schaltplans aus der Lösung der Übung 2/16 i.

l) Entwerfen Sie für Z als Ausgangsvariable einen Schaltplan, in dem die Variable E als Ausgangsgröße eines UND-Gatters und die Variable R als Ausgangsgröße eines ODER-Gatters vorkommen.

m) Interpretieren Sie die Formel für Z aus der Lösung der Übung 2/16 e).



Fußgängerüberweg als Beispiel für ein logisches Problem (vgl. S. 36).

3. Logische Probleme und ihre Lösungen mit UND, ODER und NICHT

Komplizierte Entscheidungen lassen sich, wie im vorigen Kapitel ausgeführt wurde, zurückführen auf die Boolesche Verknüpfung von zweiwertigen Variablen. Wenn die abhängige Variable, also die „kompliziertere Entscheidung", von z. B. 3 unabhängigen Variablen (A, B, C) abhängt, so müssen für die abhängige Variable insgesamt $2^3 = 8$ verschiedene Werte – d. h. mögliche Kombinationen der unabhängigen Variablen betrachtet und für jede dieser 8 Kombinationen festgelegt werden, ob die abhängige Variable den Wert „0" oder „L" besitzt (vgl. hierzu nochmals Bild 2/18). Die Angabe dieser Werte definiert, wie bereits behandelt, eine Schaltfunktion (vgl. Kapitel 2, Seite 51).

Die Absicht der folgenden Erläuterungen erstreckt sich auf eine weitere Festigung des Begriffs der Schaltfunktion, d. h. der Abhängigkeit einer zweiwertigen, binären Variablen von anderen zweiwertigen Variablen.

Beispiel 1: Trinkwasserversorgung

Hierzu sollen einige Beispiele ausgeführt werden, zuerst das Beispiel einer Trinkwasserversorgung.

Problemstellung

Um die Trinkwasserversorgung eines Hochhauses sicherzustellen, seien entsprechend Bild 3/1 im Keller des Hochhauses ein Hauptvorratsbehälter und auf dem Dach ein Reservebehälter vorgesehen. Das Wasser wird durch eine Hauptpumpe bzw. bei deren Ausfall durch eine automatisch anlaufende Reservepumpe in das Versorgungssystem und den Reservebehälter gepumpt. Mit dem Reservebehälter auf dem Dach des Hochhauses soll, unabhängig von der eventuell schwankenden Antriebsleistung der jeweils arbeitenden Pumpe, ein konstanter Wasserdruck im Leitungssystem erzeugt werden. Sinnvollerweise sollen die Pumpen nur dann arbeiten, wenn – abgesehen vom Ausfall einer Pumpe – noch eine zusätzliche Anzahl von Bedingungen erfüllt ist, wenn etwa die Schwebestoffkonzentration (Verunreinigung) im Behälter nicht zu hoch, die Netzspannung für die Pumpenantriebe nicht zu klein, der Füllstand im Hauptbehälter genügend groß und der Reservebehälter nicht gefüllt ist. Natürlich muß außerdem erfaßt werden, ob die beiden Pumpen bzw. deren Filter intakt sind. Eine grobe Übersicht der hierbei auftretenden Schaltvariablen ist in Bild 3/1 angegeben.

Definition der Variablen

Hier zunächst die notwendige exakte Definition der unabhängigen Schaltvariablen (Eingangsvariablen):

A Vorratsbehälter auf dem Dach ist nicht ausreichend gefüllt,
B Filter der Hauptpumpe ist in Ordnung,
C Filter der Reservepumpe ist in Ordnung,
D Schwebestoffkonzentration ist genügend klein,
E die Netzspannung ist genügend groß.

Ebenso bedeutsam ist die exakte Festlegung der abhängigen Variablen (Ausgangsvariablen):

Y_1 Hauptpumpe „Ein"
Y_2 Reservepumpe „Ein"
Y_3 Störungsanzeige (sie ist nicht unbedingt funktionsnotwendig, wird aber im Zusammenhang mit der Überwachung der Anlage benötigt).

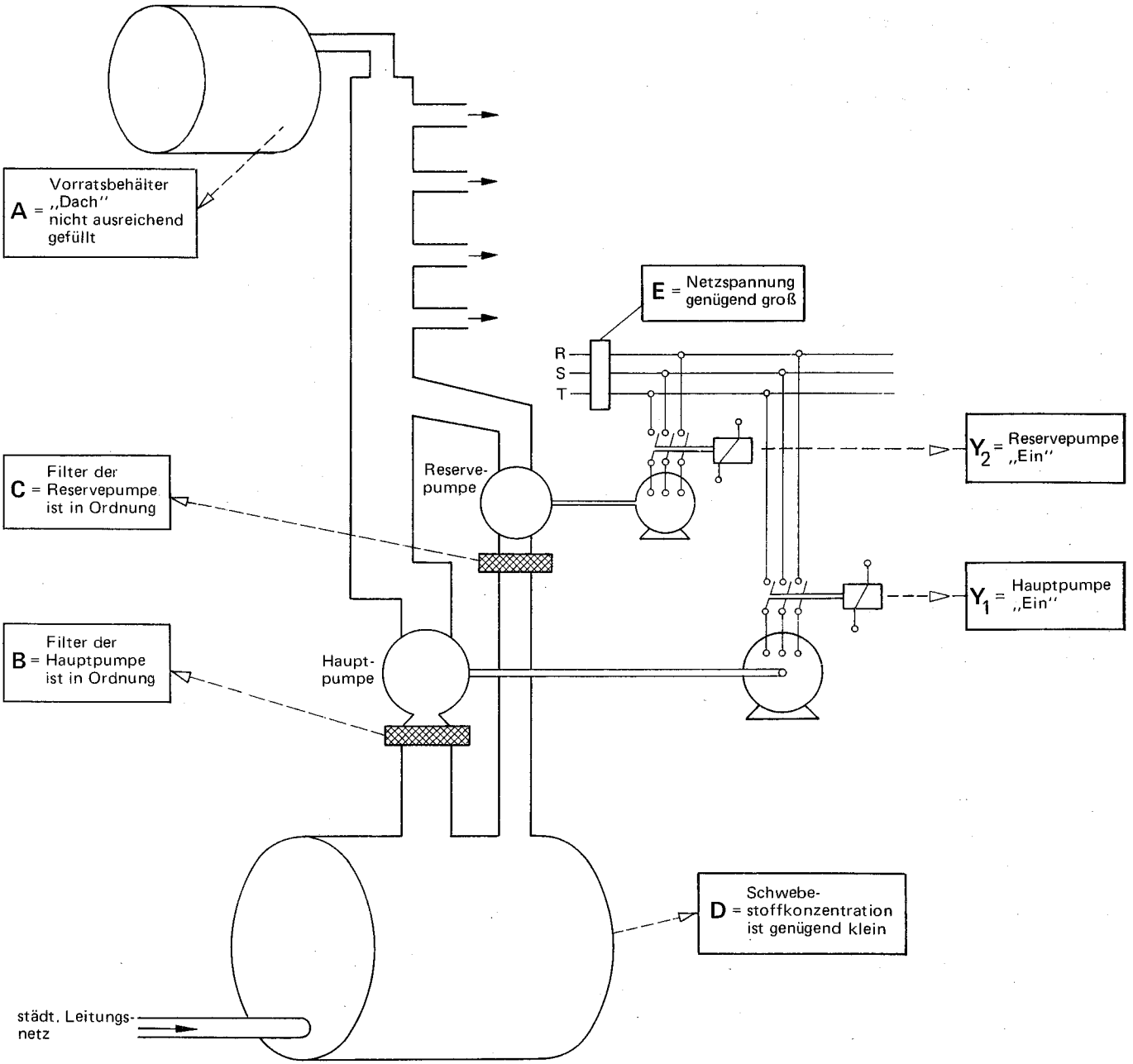


Bild 3/1. Beispiel: Trinkwasser-Versorgung eines Hochhauses.

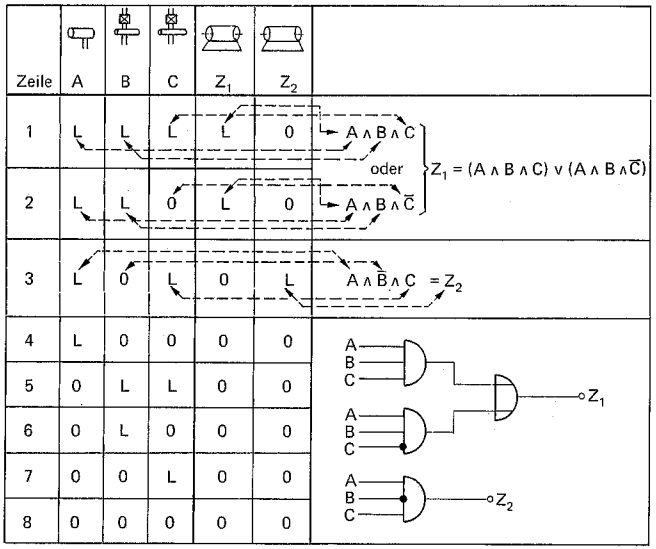


Bild 3/2. Funktionstabelle zum Beispiel Trinkwasser-Versorgung.

Vereinfachung der Aufgabenstellung

Zunächst seien die Variablen Y_1 und Y_2, also die Bedingungen für den Lauf der Hauptpumpe und der Reservepumpe betrachtet. In jedem Fall wird ein Lauf dieser Pumpen nur dann zulässig sein (d. h. Y_1 = L bzw. Y_2 = L), wenn die Netzspannung ausreicht (d. h. E = L) und die Schwebestoffkonzentration genügend klein ist (d. h. D = L). Diese zwei Bedingungen können daher vorläufig außer acht gelassen werden, da sie sich zum Schluß durch eine einfache UND-Verknüpfung berücksichtigen lassen ($D \wedge E$). Hiermit werden zunächst zwei Schaltfunktionen Z_1 und Z_2 gebildet, die folgende Bedeutung haben:
Z_1 Teilvoraussetzung für Hauptpumpe „EIN",
Z_2 Teilvoraussetzung für Reservepumpe „EIN".
Hierdurch reduziert man das Problem von 5 auf zunächst 3 unabhängige Variablen, so daß man statt der $2^5 = 32$ möglichen Kombinationen vorerst nur $2^3 = 8$ zu betrachten hat. Übrig bleiben also die drei unabhängigen Variablen A, B, C. In Bild 3/2 ist die Tabelle der mit ihnen zu bildenden möglichen acht Werte-Kombinationen angegeben, wie sie sich aus der Problemstellung ergibt.

Aufstellung der Funktionstabelle

Gehen wir die Zeilen der Reihe nach durch:

Erste Zeile:
Dachbehälter ist nicht ausreichend gefüllt: A = L und die beiden Pumpenfilter sind intakt: B = L und: C = L.
In diesem Fall muß die Hauptpumpe arbeiten, nicht jedoch die Reservepumpe, denn es liegt keine Störung vor. Also Z_1 erhält L-Signal und Z_2 liegt dementsprechend auf 0.

Die zweite Zeile zeigt,
daß der Hauptpumpenfilter intakt ist, aber nicht der Reservepumpenfilter, C = 0; auch in diesem Fall kann die Hauptpumpe arbeiten, nicht jedoch die Reservepumpe. Ebenfalls ist wieder Z_1 = L und Z_2 = 0.

In der dritten Zeile ist ersichtlich,
daß B auf 0 liegt, d. h. also, daß der Hauptpumpenfilter nicht in Ordnung ist. Es liegt also eine Störung vor und in diesem Fall darf der Hauptpumpenmotor nicht fördern, Z_1 = 0. Dafür übernimmt die Reservepumpe die Arbeit Z_2 = L.
In der vierten Zeile sieht man,
daß zwar der Dachbehälter gefüllt werden müßte, A = L, aber beide Filter sind nicht intakt. B und C liegen auf 0, in diesem Falle darf natürlich auch keiner der Pumpenmotoren arbeiten: Z_1 und Z_2 = 0.

Die weiteren Zeilen,
die Zeilen 5 bis 8, sind uninteressant, denn der Dachbehälter ist ausreichend gefüllt, A = 0, und in diesem Falle muß natürlich keine der Pumpen arbeiten. Also sind Z_1 und Z_2 stets auf 0.

Aus dieser Funktionstabelle lassen sich nun die Schaltfunktionen Z_1 und Z_2 direkt ablesen. Begonnen wird mit Zeile 3. Hier gilt Z_2 = L, und zwar unter der Bedingung, daß A = L UND B = 0 UND C = L ist. In der angegebenen Weise (Bild 3/2) erhält man dann $Z_2 = A \wedge \bar{B} \wedge C$. Der entsprechende Symbolplan ist in Bild 3/2 unten rechts dargestellt.

Die Funktion Z_1 ergibt sich aus den Zeilen 1 und 2. Aus Zeile 1 liest man ab: $A \wedge B \wedge C$ und aus Zeile 2: $A \wedge B \wedge \bar{C}$. Die Funktion Z_1 lautet also:

$(A \wedge B \wedge C)$ ODER $(A \wedge B \wedge \bar{C})$,

d.h. $(A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$.

Im Symbolplan ergeben sich also 2 UND-Verknüpfungen, die über ein ODER zur Ausgangsvariablen Z_1 führen.

Schaltungsvereinfachung

Betrachtet man die Funktion für Z_1 näher, so kann man zeigen, daß sie sich vereinfachen läßt.

Wir verwenden für diese Vereinfachung die Rechenregeln von Kapitel 2 (vgl. Bild 2/27).

Zunächst verwenden wir das Verteilungsgesetz (Distributivgesetz)
$[(a \wedge b) \vee (a \wedge c)] = [a \wedge (b \vee c)]$.
Um dieses Gesetz direkt auf die Formel
$Z_1 = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$ anzuwenden, müssen wir die Variablen $A \wedge B$ zunächst zusammenfassen, wir deuten das hier folgendermaßen an:

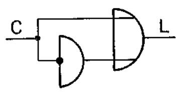
$$Z_1 = (\underbrace{A \wedge B}_{a} \wedge \underbrace{C}_{b}) \vee (\underbrace{A \wedge B}_{a} \wedge \underbrace{\bar{C}}_{c}).$$

Unter Verwendung des Distributivgesetzes ergibt sich dann

$$Z_1 = A \wedge B \wedge (C \vee \bar{C}).$$

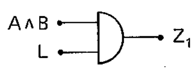
Es läßt sich nun zeigen, daß $C \vee \bar{C}$ in jedem Fall L ist. Das wird besonders deutlich, wenn man das einmal im Symbolplan darstellt und die beiden Möglichkeiten durchspielt (vgl. Funktionstabelle)

$C \vee \bar{C} = \mathrm{L}$



C	Ausg.
0	L
L	L

Also $C \vee \bar{C} = \mathrm{L}$.
Damit ergibt sich:
$Z_1 = A \wedge B \wedge \mathrm{L}$.
Im Symbolplan bedeutet dies:

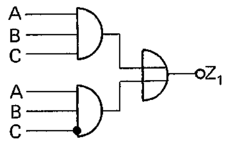


Man erkennt sofort, daß die UND-Funktion überflüssig ist, da unten immer der Pegel L anliegt,
d.h. $Z_1 = A \wedge B$.
Man kann dies auch rein mathematisch beweisen, und zwar mit dem Absorptionsgesetz ($a \wedge \mathrm{L} = a$)

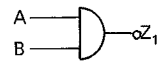
$$Z_1 = \underbrace{A \wedge B}_{a} \wedge \mathrm{L}.$$

Mit $A \wedge B = a$ ergibt sich
$Z_1 = A \wedge B$.

Die Funktion
$Z_1 = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$ vereinfacht sich also zu:
$Z_1 = A \wedge B$.
Im Symbolplan wird die Vereinfachung noch deutlicher: An Stelle von 3 Logikgattern wird jetzt nur noch eins benötigt:



ursprünglicher Symbolplan



vereinfachter Symbolplan

Zur Vereinfachung von Schaltfunktionen vgl. auch Seite 65ff.)

Die beiden zunächst vernachlässigten Variablen werden hinzugefügt

Beim ursprünglichen Ausgang von 5 Eingangsvariablen gilt es jetzt, die vernachlässigten wieder hinzuzufügen, und zwar durch eine einfache UND-Beziehung. Man erhält dann:
$Y_1 = Z_1 \wedge (D \wedge E)$
und
$Y_2 = Z_2 \wedge (D \wedge E)$.
In Bild 3/3a ist der Symbolplan dargestellt. Man erkennt, daß auch hier eine Vereinfachung in Frage kommt, Bild 3/3 b.

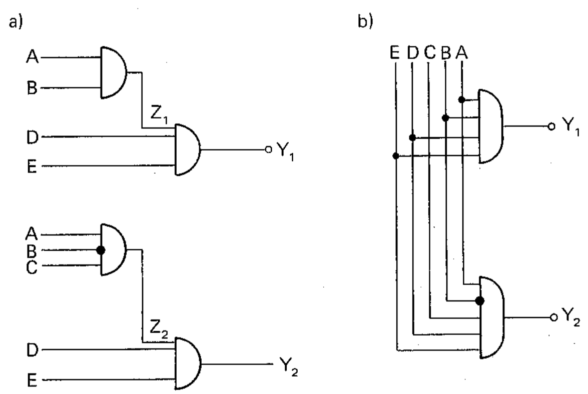


Bild 3/3. Symbolplan der vollständigen Schaltfunktion Y_1 und Y_2.
a) Ursprünglich.
b) Vereinfacht.

Entwicklung der Funktion zur Störungsanzeige

An der Funktionstabelle in Bild 3/4 ist ersichtlich, daß eine Störungsanzeige erforderlich ist (Y_3 = L), wenn einerseits (vgl. Zeile 2) beide Pumpen nicht einschaltbar sind (Y_1 und Y_2 = 0) UND der Reservebehälter auf dem Dach nicht gefüllt ist (A = L) ODER andererseits (vgl. Zeile 7), wenn beide Pumpen (z.B. auf Grund eines Defektes im Steuerungssystem) gleichzeitig laufen (d.h. Y_1 und Y_2 = L) ODER (vgl. Zeile 8), wenn alle Eingangsvariablen auf L liegen.

Die Funktion lautet also:

$$Y_3 = (\bar{Y}_1 \wedge \bar{Y}_2 \wedge A) \vee \underbrace{(Y_1 \wedge Y_2 \wedge \bar{A}) \vee (Y_1 \wedge Y_2 \wedge A)}_{a}$$

Auch hier ist wieder eine Vereinfachung des Teils a möglich. Es handelt sich um die gleiche Vereinfachung wie vorhin auf Seite 59,
aus $(Y_1 \wedge Y_2 \wedge \bar{A}) \vee (Y_1 \wedge Y_2 \wedge A)$
wird ganz einfach $Y_1 \wedge Y_2$.
Damit ergibt sich folgende vereinfachte Funktion
$Y_3 = (\bar{Y}_1 \wedge \bar{Y}_2 \wedge A) \vee (Y_1 \wedge Y_2)$,
vgl. auch den Symbolplan in Bild 3/4.

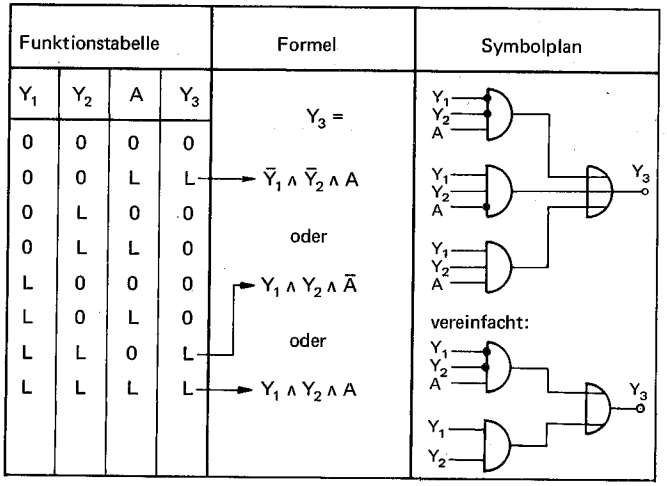


Bild 3/4. Schalttabelle zur Störungsanzeige (Beispiel Trinkwasserversorgung).

Die Realisierung eines derartigen Symbolplans mit technischen Mitteln ist in den Folgekapiteln behandelt.

Übung 3/1 ?

Zeichnen Sie den vollständigen Symbolplan zum Beispiel Trinkwasserversorgung, ausgehend von den vereinfachten Darstellungen
$Y_1 = A \wedge B \wedge C \wedge D \wedge E$
$Y_2 = A \wedge \bar{B} \wedge C \wedge D \wedge E$
$Y_3 = (\bar{Y}_1 \wedge \bar{Y}_2 \wedge A) \vee (Y_1 \wedge Y_2)$

Allgemeine Merksätze zur Lösung von logischen Schaltungsproblemen

Wie das behandelte Beispiel zeigt, geht man zur Lösung eines digitalen Schaltungsproblems immer in einer ganz bestimmten Reihenfolge der Lösungsschritte vor: Nach der Definition der Schaltvariablen folgt die Aufstellung der Funktionstabelle, aus der schließlich die Schaltfunktionen abgelesen und als Formel bzw. Symbolplan dargestellt werden können.

Merke:
Reihenfolge beim Lösen von Schaltproblemen:
1. Definition der Variablen,
2. Aufstellung der Funktionstabellen *),
3. Ablesen der Schaltfunktionen aus den Tabellen,
4. Formeldarstellung,
5. Symbolplan.

*) Bei einer größeren Anzahl von Variablen werden die Funktionstabellen im allgemeinen zu umfangreich. So hätte man im behandelten Beispiel bei insgesamt 5 Variablen A bis E 32 Zeilen der Tabelle erhalten, wenn man die Variablen D und E nicht von vornherein in ihrem Einfluß erkannt und entsprechend am Schluß hätte berücksichtigen können. In Fällen, wo die Tabellen zu umfangreich werden, können andere Darstellungsweisen an die Stelle der Tabellenform treten, die wir teilweise später näher behandeln werden. (z.B. die Methode des KARNAUGH-VEITCH-Diagramms, vgl. S. 64).

Beispiel 2: Schaltfunktion bei einer Heizkesselüberwachung

Auch bei dem folgenden Beispiel, bei dem die Schaltfunktion zur Überwachung der Heizung eines Heizkessels bestimmt werden soll, muß zuerst wieder ausgehend von der Problemstellung, d.h. der Definition der Variablen, eine Funktionstabelle aufgestellt werden, aus der sich dann die gesuchte Schaltfunktion ablesen läßt.

Die Heizung des Kessels soll nur eingeschaltet sein, wenn Wasser im Kessel ist, der Schalter geschlossen ist und die Wassertemperatur noch nicht einen bestimmten Höchstwert erreicht hat.

Eine Übersicht über die auftretenden Schaltvariablen zeigt Bild 3/5. Dabei sind die unabhängigen Schaltvariablen:

$A \triangleq$ es ist ausreichend Wasser im Kessel,
$B \triangleq$ die Temperatur hat ihren Höchstwert erreicht,
$C \triangleq$ der Hauptschalter ist geschlossen.

Die abhängige Variable Z kennzeichnet den eingeschalteten Zustand der Heizung.

$Z \triangleq$ Heizung ist eingeschaltet.

Nun kann die Funktionstabelle aufgestellt werden (vgl. Bild 3/6). Die Heizung wird nur dann eingeschaltet sein (Z = L),

wenn

Wasser im Kessel ist (A = L)

UND

die Temperatur ihren Höchstwert NICHT erreicht hat (B = 0)

UND

der Schalter eingeschaltet ist (C = L).

Aus der aus 8-Werte-Kombinationen der unabhängigen Variablen A, B und C bestehenden Funktionstabelle in Bild 3/6 kann nun die gesuchte Schaltfunktion abgelesen werden. Sie lautet

$Z = A \wedge \bar{B} \wedge C$.

Der zugehörige Symbolplan, Bild 3/7, ist eine einfache UND-Verknüpfung, wobei eine Eingangsvariable noch negiert werden muß.

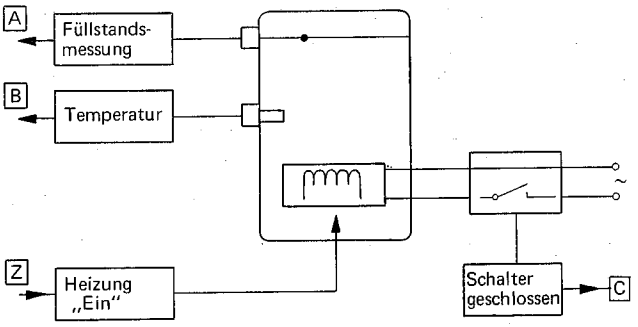


Bild 3/5. Übersichtsbild zum Beispiel Heizkesselüberwachung.

Funktionstabelle				Schaltfunktion
A	B	C	Z	
0	0	0	0	
0	0	L	0	
0	L	0	0	
0	L	L	0	
L	0	0	0	
L	0	L	L	$Z = A \wedge \bar{B} \wedge C$
L	L	0	0	
L	L	L	0	

Bild 3/6. Funktionstabelle zum Beispiel Heizkesselüberwachung.

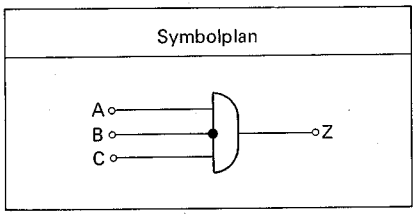


Bild 3/7. Symbolplan zum Beispiel Heizkesselüberwachung.

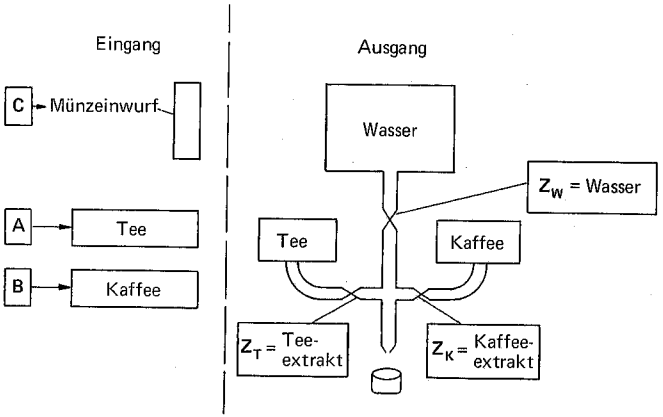


Bild 3/8. Getränkeautomat.

Zeile	A	B	C	Z_T	Z_K	Z_W
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	L	0	0	0
3	0	L	0	0	0	0
4	0	L	L	0	L	L
5	L	0	0	0	0	0
6	L	0	L	L	0	L
7	L	L	0	0	0	0
8	L	L	L	0	0	0

Bild 3/9. Funktionstabelle zum Beispiel Getränkeautomat.

Beispiel 3: Schaltfunktionen bei einem Getränkeautomaten

Als weiteres Beispiel für das Aufstellen von Schaltfunktionen soll die Steuerung zur Ausgabe eines Getränkes aus einem Getränkeautomaten behandelt werden, Bild 3/8.

Nach dem Einwurf einer passenden Münze kann der Benutzer durch Drücken der Taste „Tee" bzw. „Kaffee" das gewünschte Getränk auswählen.

Wie geht man vor, um hierfür die Schaltfunktion aufzustellen?

Hier noch einmal die verschiedenen Etappen des Entwurfs:

1. Klare Aufgabenformulierung und exakte Definition der Variablen,
2. Erstellung der Funktionstabelle,
3. Aus der Funktionstabelle Ermittlung der Funktion, wenn nötig und möglich mit entsprechender Vereinfachung,
4. Zeichnen des Symbolschaltplans aus der vorher ermittelten Funktion.

Zunächst die Aufgabenstellung:

Aus methodischen Gründen sei das Problem auf drei Eingangsvariablen vereinfacht. Das Getränk – der Tee oder der Kaffee – soll immer dann ausgegeben werden, wenn nach dem Einwurf einer Münze entweder die Tee- oder Kaffeetaste gedrückt wird. Dies läuft so ab, daß dem heißen Wasser, das z. B. durch ein Magnetventil freigegeben wird, entweder der Kaffee- oder Tee-Extrakt zugefügt werden soll.

Die Vereinfachung besteht darin, daß im Gegensatz zu diesem Automaten keine Möglichkeit einprogrammiert wird, Zusätze wie Milch oder Zucker beizufügen.

Zunächst seien die Eingangsvariablen definiert.

Variable $A \triangleq$ Tee wird gewünscht, d. h. die entsprechende Taste ist gedrückt,

Variable $B \triangleq$ Kaffee wird gewünscht,

Variable $C \triangleq$ Münze wurde eingeworfen.

Soweit die drei Eingangsvariablen und hier die für den Ausgang:

$Z_K \triangleq$ Kaffee-Extrakt läuft aus,

$Z_T \triangleq$ Tee-Extrakt wird eingefüllt und

$Z_W \triangleq$ das heiße Wasser läuft aus.

Den drei Eingangsvariablen stehen also drei Ausgänge gegenüber.

Jetzt wird die Funktionstabelle aufgestellt (vgl. Bild 3/9).

Solange kein Geld eingeworfen wurde ($C = 0$), müssen alle Ausgangsvariablen 0 sein (vgl. Zeilen 1, 3, 5, 7).

Wenn keine der Tasten gedrückt ist, sind auch alle Eingangsgrößen gleich 0 (vgl. Zeile 1, 2). In der vierten Zeile wird Kaffee gewünscht, außerdem ist eine Münze eingeworfen, d. h. Kaffee-Extrakt Z_K muß Signal erhalten, zugleich muß warmes Wasser eingefüllt werden, also Z_W erhält ebenfalls L-Signal. Z_T muß in diesem Fall natürlich 0-Signal führen. Es muß dafür gesorgt werden, daß auf keinen Fall Tee- und Kaffee-Extrakt zusammen auslaufen.

In der fünften Zeile wird zwar Tee gewünscht, jedoch hat der Benutzer vergessen, Geld einzuwerfen, also reagiert der Automat in allen seinen Ausgangsgrößen mit dem Zustand 0. Die folgenden Zeilen der Tabelle sind in ihren Ausgangsvariablen entsprechend zu verstehen. In der letzten Zeile sind alle 3 Eingangsvariablen L, d. h. der Automat weiß nicht, was er machen soll, es muß dafür gesorgt werden, daß alle Ausgänge gesperrt sind, also Z_T, Z_K und Z_W jeweils 0-Signal haben.
Mit den bisher geübten Fähigkeiten, Schaltfunktionen aus der Funktionstabelle abzulesen, lassen sich aus der Funktionstabelle (Bild 3/9) folgende Schaltfunktionen ermitteln:
$Z_T = A \wedge \bar{B} \wedge C$ (Zeile 6),
$Z_K = \bar{A} \wedge B \wedge C$ (Zeile 4),
$Z_W = (\bar{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge C)$ (Zeile 4 und 6).

Der Symbolplan zu diesen Schaltfunktionen ist in Bild 3/10 angegeben.

Für die unabhängige Variable Z_W konnte also die Schaltfunktion
$Z_W = (\bar{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge C)$
ermittelt werden. Dieser Ausdruck läßt sich unter Anwendung des Distributivgesetzes (vgl. Bild 2/27) noch umschreiben. Setzt man nämlich für
$\bar{A} \wedge B = a$ und $A \wedge \bar{B} = b$,
so gilt:
$Z_W = (a \wedge C) \vee (b \wedge C) = C \wedge [a \vee b]$.
Nach Einsetzen der ursprünglichen Beziehungen ist dann
$Z_W = C \wedge [\underbrace{(\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})}_{f}]$.

Den Symbolplan zu dieser Booleschen Formel findet man in der rechten unteren Seite von Bild 3/10. Der in eckigen Klammern stehende Anteil der Schaltfunktion, der durch f gekennzeichnet werden soll, also
$f = (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})$
nimmt nur genau dann den Wert L an, wenn die beiden unabhängigen Variablen A und B unterschiedliche Schaltwerte (also O/L bzw. L/O) besitzen. Diese Tatsache kann man sich wieder am einfachsten anhand einer Funktionstabelle für f erklären:

A	B	f
O	O	O
O	L	L
L	O	L
L	L	O

$f = \begin{cases} \bar{A} \wedge B \\ \text{oder} \\ A \wedge \bar{B} \end{cases}$ $\qquad f = (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})$.

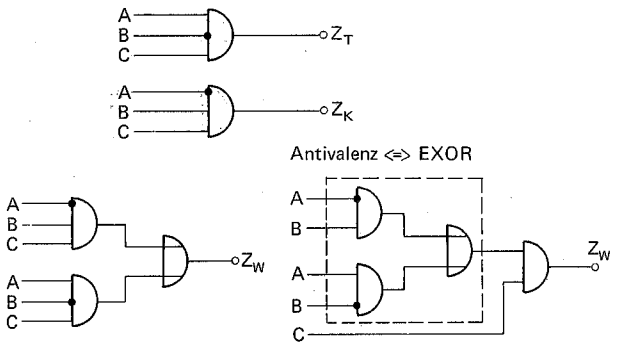


Bild 3/10. Symbolplan zum Beispiel Getränkeautomat.

Eine derartige Schaltfunktion, die nur dann den logischen Pegel L besitzt, wenn die unabhängigen Variablen unterschiedliche Schaltwerte aufweisen, stellt eine sehr wichtige Verknüpfung in der Digitaltechnik dar. Man bezeichnet sie als ANTIVALENZ-Beziehung bzw. als EXOR-Verknüpfung (Exklusives ODER).

Übung 3/2 ?

Wie sieht die Schaltfunktion f der unabhängigen Variablen A und B in Formel und Symbolplan aus, die genau dann den Wert L annimmt, wenn A und B denselben Schaltwert (also beide L oder 0) aufweisen?

Übung 3/3 ?

Wie läßt sich die Funktion
$f = (A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (\bar{B} \wedge C)$
vereinfachen? Zeichnen Sie jeweils auch die Symbolschaltpläne.

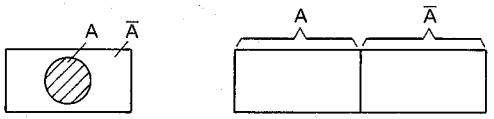


Bild 3/11. Punktmengendarstellung einer Variablen.

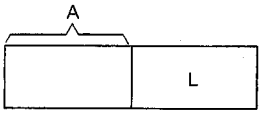


Bild 3/12. Funktion $Y = \bar{A}$ im KV-Diagramm.

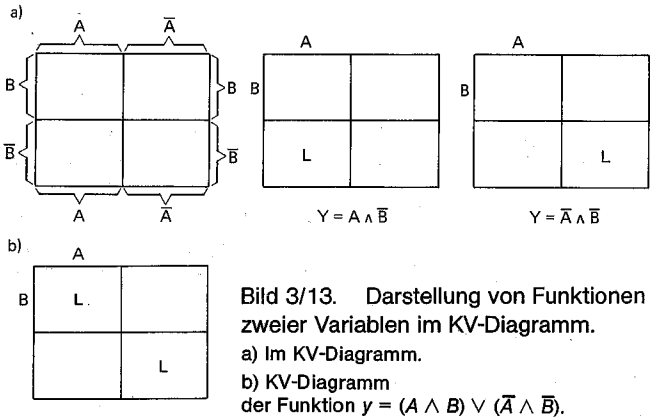
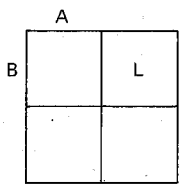


Bild 3/13. Darstellung von Funktionen zweier Variablen im KV-Diagramm.
a) Im KV-Diagramm.
b) KV-Diagramm der Funktion $y = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$.

Übung 3/4 ?

Wie lautet die Funktion für das dargestellte KV-Diagramm?



Das KARNAUGH-VEITCH-Diagramm (KV-Diagramm)

An einzelnen Beispielen wurde bereits demonstriert, daß sich Schaltfunktionen vereinfachen lassen. Die Benutzung der Rechenregeln auf direkte Weise ist hierbei häufig recht umständlich. Man hat deshalb nach Verfahren gesucht, die eine schnelle Vereinfachung Boolescher Funktionen, d. h. eine „Minimierung" dieser Funktionen gestatten. Eine dieser Möglichkeiten ist die Minimierung Boolescher Funktionen nach der Methode des KARNAUGH-VEITCH-Diagramms (KV-Diagramm). Es ist ein graphisches Verfahren und veranschaulicht auf ähnliche Weise, wie bereits vorher schon erläutert, die Booleschen Variablen durch Punktmengen eines abgegrenzten Bereiches (vgl. Kapitel 2, Seite 45). Die Methode soll im folgenden besprochen werden.

Aus dem vorherigen Kapitel ist bereits bekannt, daß man einer Booleschen Variablen A und der zugehörigen negierten Variablen $\bar{A}$ eine Punktmenge zuordnen kann. Die linke Seite von Bild 3/11 soll dies in Erinnerung rufen. Eine gleichwertige Abbildung der Booleschen Variablen A und ihrer Negation $\bar{A}$ ist in Bild 3/11 auf der rechten Seite angegeben. Es handelt sich dabei um ein sog. KV-Diagramm, in diesem Fall für eine Variable.

Will man eine Funktion Y dieser einen Variablen A, z. B. $Y = \bar{A}$, in diesem Diagramm darstellen, so tun wir dies, indem wir die zu dieser Funktion gehörigen Teile durch ein L im KV-Diagramm kennzeichnen. Bild 3/12 zeigt dies für die als Beispiel gewählte Funktion $Y = \bar{A}$.
Bild 3/12 zeigt darüber hinaus, daß es genügt, lediglich den Teilbereich A in diesem Diagramm zu bezeichnen, da der restliche nicht bezeichnete Teilbereich natürlich zwangsweise zu $\bar{A}$ gehört.

Wie macht man es nun, wenn man eine Funktion von zwei Variablen im KV-Diagramm darstellen will?
Bild 3/13 zeigt, wie im Fall der UND Verknüpfung von zwei Variablen vorzugehen ist.

Schaltungsvereinfachung im KV-Diagramm mit 2 Variablen

Bild 3/14 zeigt das Beispiel der Darstellung einer Funktion $Y = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$ im KV-Diagramm. Es kommt nun darauf an, jeweils in diesem Diagramm benachbarte, mit L bezeichnete Felder (horizontal oder vertikal) zu größeren Gebieten zusammenzufassen. Daraus ergeben sich wesentliche Vereinfachungen. Man kann unmittelbar erkennen, daß sich die beiden mit L bezeichneten Felder zu einem Gesamtfeld zusammenfassen lassen (man spricht hier von der Bildung von Elementarblöcken). In unserem Falle ist der Block identisch mit $\bar{B}$. A und $\bar{A}$ heben sich auf. Statt

$Y = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$

besteht also die Möglichkeit, viel kürzer

$Y = \bar{B}$

zu schreiben. Die Zusammenfassung und damit auch formelmäßige Vereinfachung hat sich im KV-Diagramm durch die Nachbarschaft von zwei L-Feldern ausgedrückt.

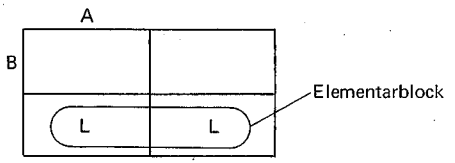


Bild 3/14. Schaltungsvereinfachung mit KV-Diagramm durch Bildung von Elementarblöcken:
Darstellung von $Y = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$ im KV-Diagramm.
Es ergibt sich die Vereinfachung $Y = \bar{B}$.

> Merke:
> Die Zusammenfassung von benachbarten L-Feldern im KV-Diagramm führt zu einer Formelvereinfachung.

Diese Vereinfachung ergibt auch die Möglichkeit der Darstellung der einfachen ODER-Verknüpfung von zwei Variablen im KV-Diagramm, also $Y = A \vee B$. Aber versuchen Sie dieses KV-Diagramm doch einmal selbst zu entwerfen:

Übung 3/5

Gesucht: Das KV-Diagramm für die ODER-Verknüpfung $Y = A \vee B$.

Es soll nun als Beispiel von der vorgegebenen Funktion
$f = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B)$
das KV-Diagramm bestimmt und danach die Funktion anhand dieses Diagramms vereinfacht werden.

Nach den vorher gemachten Ausführungen wird die Funktion durch das in Bild 3/15 dargestellte KV-Diagramm

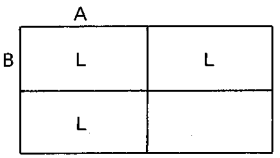


Bild 3/15. KV-Diagramm der Booleschen Funktion $f = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B)$.

repräsentiert. Um die Funktion zu vereinfachen, kommt es, wie bereits bekannt, darauf an, möglichst viele mit L belegte Felder zu sog. Elementarblöcken zusammenzufassen. Man faßt demnach bei dem zu untersuchenden Beispiel zunächst die beiden linken Teilfelder, Bild 3/16, zusammen. Dies entspricht nach den Rechengesetzen der Booleschen Algebra einer Vereinfachung von:
$(A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) = A$.

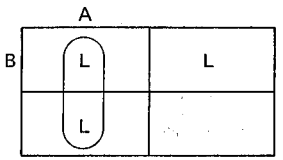


Bild 3/16. Zusammenfassung von $(A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})$ zu A.

Wegen der Rechenregel
$A \vee A = A$
kann ein Term ohne weiteres auch zweimal in einer Funktion enthalten sein. Dies bedeutet im KV-Diagramm, daß ein mit L belegtes Feld mehreren Elementarblöcken an-

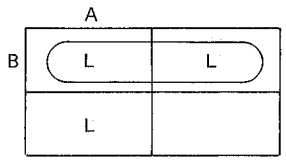


Bild 3/17. Zusammenfassung von $(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge B)$ zu B.

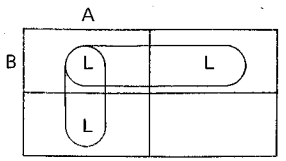


Bild 3/18. Elementarblöcke der Booleschen Funktion $f = (A \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge B)$. Durch Zusammenfassung erhält man $f = A \vee B$.

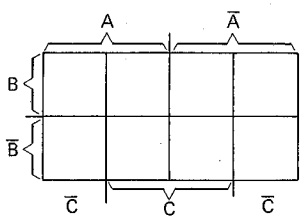


Bild 3/19. KV-Diagramm für drei Variable.

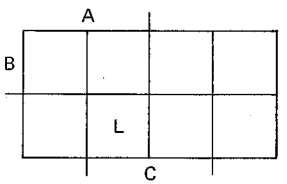


Bild 3/20. KV-Diagramm der Funktion $f = A \wedge \bar{B} \wedge C$.

gehören kann. Man kann also deshalb entsprechend Bild 3/17 auch die beiden oberen Teilquadrate zu einem anderen Elementarblock B zusammenfassen, d. h.
$(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge B) = B$.
Das linke obere mit L belegte Feld von Bild 3/18 gehört demnach beiden Elementarblöcken an.

Merke:
Ein L darf gleichzeitig mehreren Elementarblöcken angehören.

Die Funktion
$f = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B)$
kann also auch kürzer in der Form
$f = A \vee B$
geschrieben werden.

KV-Diagramm für drei Variablen

Will man eine Boolesche Funktion mit mehr als zwei Variablen in ein KV-Diagramm eintragen, so muß man das Diagramm für diese Variablen entsprechend vorbereiten. Bild 3/19 zeigt beispielsweise ein KV-Diagramm für Funktionen mit drei Variablen. Da man bei 3 Variablen $2^3 = 8$ Kombinationsmöglichkeiten hat, muß ein KV-Diagramm für 3 Variablen auch 8 Teilfelder besitzen.
Z. B. muß für die Funktion
$f = A \wedge \bar{B} \wedge C$
im KV-Diagramm entsprechend Bild 3/20 ein L eingetragen werden. Das L liegt im Feld A, des weiteren im Feld $\bar{B}$ und im Feld C. Prüfen Sie es nach!
Es soll nun die Funktion
$f = (A \wedge B \wedge C) \vee (\bar{A} \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge C)$
mit Hilfe des KV-Diagramms vereinfacht werden. Zu diesem Zweck trägt man, wie besprochen, die einzelnen Terme der Booleschen Funktion f in das KV-Diagramm, entsprechend Bild 3/21, ein. Die Zusammenfassung möglichst großer benachbarter Teilfelder führt auf die Dar-

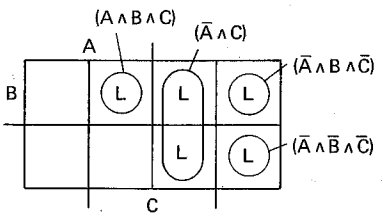


Bild 3/21. KV-Diagramm der Funktion
$f = (A \wedge B \wedge C) \vee (\bar{A} \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge C)$.

stellung von Bild 3/22 und somit zu der vereinfachten Booleschen Funktion
$f = \bar{A} \vee (B \wedge C)$.

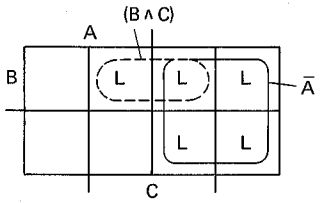


Bild 3/22. Zusammenfassung von L belegten Feldern des KV-Diagramms zu Elementarblöcken: $Y = \bar{A} \vee (B \wedge C)$.

Übung 3/6 ?

Wie ist ein KV-Diagramm mit drei Variablen A, B und C aufgebaut, und wie sieht die Darstellung der Funktion
$f = (A \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C)$
aus?

Übung 3/7 ?

Wie läßt sich die Funktion
$f = (A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (\bar{B} \wedge C)$
im KV-Diagramm vereinfachen?

Ein KV-Diagramm für vier Boolesche Variablen zeigt Bild 3/23. Dieses KV-Diagramm beinhaltet $2^4 = 16$ Teilfelder.

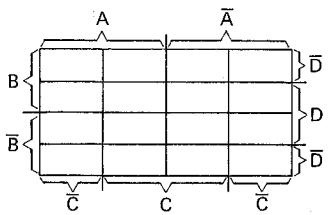
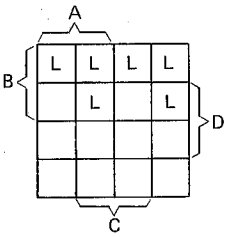


Bild 3/23. KV-Diagramm für vier Variable.

Man kennt auch KV-Diagramme für Boolesche Funktionen mit mehr als 4 Variablen. Das Prinzip zur Vereinfachung Boolescher Funktionen im KV-Diagramm bleibt jedoch immer das gleiche, d. h. die Zusammenfassung benachbarter L-Felder zu Elementarblöcken führt zur Formelvereinfachung.

Übung 3/8 ?

Wie sieht die vereinfachte Schaltfunktion aus, deren KV-Diagramm folgendes Aussehen hat?



Am Beispiel der Trinkwasserversorgung wollen wir uns nun überzeugen, wie mit Hilfe des KV-Diagramms die Schaltfunktion Y_1, die den Hauptpumpenmotor steuert, vereinfacht werden kann (Bild 3/3). Es war
$Y_1 = Z_1 \wedge D \wedge E = [(A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})] \wedge D \wedge E$
mit
$Z_1 = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$.
Da die zwei Variablen D und E nur einmal in dem Ausdruck für Y_1 vorkommen, genügt es, die Boolesche Funktion Z_1 zu vereinfachen, um einen möglichst einfachen Ausdruck für Y_1 zu erhalten. Z_1 hat die drei Variablen A, B und C zum Inhalt. Man muß also ein KV-Diagramm für drei Variablen zeichnen. In Bild 3/24 sind die entsprechenden Terme der Funktion Z_1 in das KV-Diagramm eingetragen.

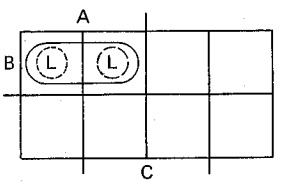


Bild 3/24. KV-Diagramm der Schaltfunktion
$Z_1 = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$.

Die Zusammenfassung der beiden benachbarten L-Felder führt dann auf den vereinfachten Ausdruck
$Z_1 = A \wedge B$
und man erhält somit für Y_1 die vereinfachte Form:
$Y_1 = A \wedge B \wedge D \wedge E$.
Diese Vereinfachung stimmt mit der vereinfachten Form des Symbolplanes aus Bild 3/3 überein.

Die Methode des KARNAUGH-VEITCH-Diagramms ist also ein gutes Verfahren zur Vereinfachung Boolescher Funktionen.

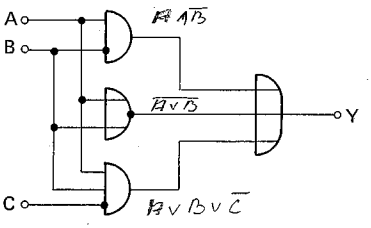
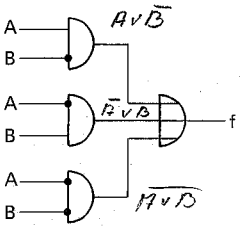


Bild 3/25. Vorgegebener Symbolplan.

Übung 3/9 ?

Wie läßt sich der vorgegebene Symbolplan mit Hilfe des KV-Diagramms in eine einfachere Form bringen?



Bestimmung der Schaltfunktion aus einem Symbolplan und ihre Vereinfachung

Nicht immer ist der Digitaltechniker vor die Aufgabe gestellt, in der vorstehend behandelten Reihenfolge vorzugehen. In manchen Fällen erhält er bereits einen fertigen Symbolplan vorgelegt, der von dem jeweiligen Anlagenfachmann bereits erarbeitet wurde. In diesem Fall muß er in der Lage sein, aus der symbolischen Darstellung die entsprechende Schaltfunktion herauslesen zu können.

Auch dies soll deshalb anhand eines einfachen Beispiels geübt werden. Vorgegeben sei die in Bild 3/25 angegebene symbolische Form einer Schaltfunktion. Man kann aus dem Symbolplan sofort ablesen, daß die formelmäßige Darstellung der Schaltfunktion durch

$$Y = (A \wedge \bar{B}) \vee (\overline{A \vee B}) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C}) \qquad (1)$$

gegeben ist. Daß sich diese Rückgewinnung der Formel für den Digitaltechniker u. U. lohnt, erkennt man hier sehr deutlich, wenn man auf diese Formel die Rechenregeln der Schaltalgebra (vgl. Kapitel 2, Bild 2/27) anwendet. Schrittweise läßt sich diese Formel nämlich in folgender Weise umformen:

	De Morgan
$Y = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$	(2)
	Distributivgesetz
$Y = (\bar{B} \wedge (A \vee \bar{A})) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$	
	Komplementierung
$Y = \bar{B} \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$	
	Kommutativgesetz
$Y = \bar{B} \vee (B \wedge A \wedge \bar{C})$	
	Assoziativgesetz
$Y = \bar{B} \vee (B \wedge (A \wedge \bar{C}))$	
	Distributivgesetz
$Y = (\bar{B} \vee B) \wedge (\bar{B} \vee (A \wedge \bar{C}))$	
	Komplement
$Y = L \wedge (\bar{B} \vee (A \wedge \bar{C}))$	
	Absorption
$Y = \bar{B} \vee (A \wedge \bar{C})$.	

Die Beziehung (1) hat also nun die viel einfachere Form
$Y = \bar{B} \vee (A \wedge \bar{C})$ (3).
Wie sieht der Symbolplan zu dieser einfachen Booleschen Funktion aus? Versuchen Sie vor dem Weiterlesen, den Symbolplan anzugeben. Wenn der ermittelte Symbolplan mit dem in Bild 3/26 gezeigten übereinstimmt, so ist die richtige Lösung gefunden.

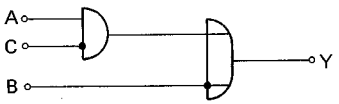


Bild 3/26. Vereinfachter Symbolplan.

Die bereits schon einmal mit Hilfe von Rechenregeln der Booleschen Algebra vereinfachte Boolesche Funktion nach Gl. (1)
$Y = (A \wedge \bar{B}) \vee \overline{(\bar{A} \vee B)} \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$
soll jetzt unter Verwendung des KV-Diagramms minimiert werden. Zu diesem Zweck trägt man, ausgehend von Gl. (2)
$Y = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C})$,
alle Terme dieser Booleschen Funktion, wie besprochen, in das KV-Diagramm für die drei Variablen A, B und C ein, Bild 3/27. Dann faßt man entsprechend Bild 3/28 die mit L belegten Felder des KV-Diagramms zu Elementarblöcken zusammen. Es kann dann sofort eine vereinfachte Boolesche Funktion
$Y = \bar{B} \vee (A \wedge \bar{C})$
abgelesen werden, die mit Gl. (3) identisch ist.

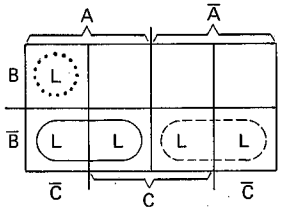


Bild 3/27. KV-Diagramm der Funktion
$y = (\underline{A \wedge \bar{B}}) \vee (\underline{\bar{A} \wedge \bar{B}}) \vee (\underline{A \wedge B \wedge \bar{C}})$.

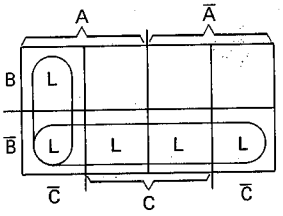


Bild 3/28. Zusammenfassung von L belegten Feldern des KV-Diagramms zu Elementarblöcken: $Y = \bar{B} \vee (A \wedge \bar{C})$.

Beispiel 4: Schaltfunktionen bei einer Sprechanlage

Das folgende Beispiel soll wieder von einem vorgegebenen Schaltproblem ausgehen und zum Ermitteln der bei seiner Lösung benötigten Schaltfunktionen führen. Es handelt sich dabei um eine Sprechanlage, die es durch Tastendruck ermöglichen soll, daß die drei leitenden Mitarbeiter eines Betriebes in Sprechverbindung mit der Sekretärin treten können. Dies sind der Direktor A, der Betriebsleiter B und der Werkstattmeister C. Schematisch ist das Vermittlungsproblem in Bild 3/29 dargestellt. Entsprechend der Stellung der Herren in der Firma sind die Sprechabsichten der drei Herren auch mit Priorität versehen, d. h. der Direktor A soll die höchste Priorität besitzen, der Werkstattmeister C soll nur dann vermittelt werden, wenn nicht einer der zwei anderen Benutzer A bzw. B spricht.

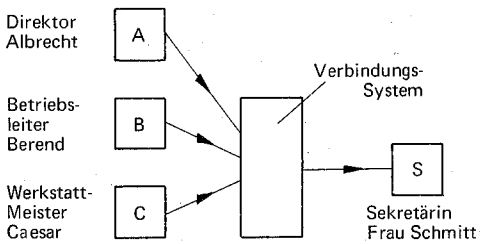


Bild 3/29. Sprechanlage eines Betriebes.

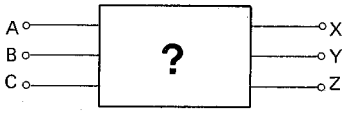


Bild 3/30. Definition der Schaltvariablen.
X = L: A spricht
Y = L: B spricht, d.h. $A = 0$
Z = L: C spricht, d.h. $A = 0$ und $B = 0$

Eine Teilaufgabe besteht nun zunächst darin, einer bestimmten Ausgangsvariablen abhängig von den gestellten Bedingungen den Schaltwert L zuzuordnen. Da hier drei Prioritätsstufen vorhanden sind, müssen bei der zu entwerfenden Verknüpfungsschaltung drei solche Ausgangsvariablen X, Y und Z definiert werden.

Hierbei bedeutet nach Bild 3/30
X entspricht: A kann mit der Sekretärin sprechen,
Y entspricht: B kann mit der Sekretärin sprechen,
Z entspricht: C kann mit der Sekretärin sprechen.

Die Booleschen Funktionen für diese Ausgangsvariablen leitet man wieder aus der Funktionstabelle ab, die entsprechend den aus Bild 3/30 ersichtlichen Forderungen, die in Bild 3/31 angegebene Form besitzt. Man kann dann hieraus leicht ablesen:
$X = A$,
$Y = \bar{A} \wedge B$ und
$Z = \bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C$.

Eingangsvariable			Ausgangsvariable		
A	B	C	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0
0	0	L	0	0	L
0	L	0	0	L	0
0	L	L	0	L	0
L	0	0	L	0	0
L	0	L	L	0	0
L	L	0	L	0	0
L	L	L	L	0	0

Bild 3/31. Funktionstabelle zum Beispiel Sprechanlage.

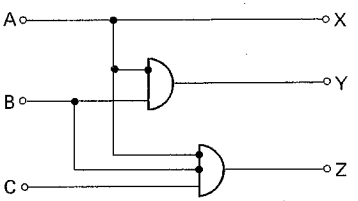


Bild 3/32. Symbolplan zum Beispiel Sprechanlage.

Bild 3/32 zeigt den zugehörigen Symbolplan, dessen Realisierung die Lösung des gestellten Schaltproblems liefert.

In dieser Form der Lösung wurde stets dafür gesorgt, daß bei einem Sprechwunsch die höhere Priorität dieser realisiert werden kann und ein Gespräch geringerer Priorität unterbrochen wird.

In den Übungen 3/10 bis 3/12 sind formale und Verständnisübungen nicht getrennt. Es sind nur wenige formale Übungen eingestreut. Sie haben einen unmittelbaren Vertiefungswert für das Verständnis. Es geht in dieser Übungsgruppe darum, die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Darstellungsformen einer logischen Funktion – Tabelle, Funktionsgleichung, KV-Diagramm und Punktmengendarstellung – bewußt zu machen und bis in die Funktionsvereinfachung hinein zu verfolgen. Die Übungen 3/10 a) bis 3/10 k) dürften als sehr leicht empfunden werden.

Übung 3/10

Funktionstabelle und Mintermnormalform.

a) In der Digitaltechnik werden häufig Funktionstabellen benutzt. Betrachten Sie einmal Bild 3/6. Für jede Variable hat man eine Spalte, wobei die Spalten für die Eingangs- bzw. unabhängigen Variablen links vorwegstehen. In diesen Spalten stehen zeilenweise alle möglichen Wertkombinationen der Eingangsvariablen. In der letzten – d. h. am weitesten rechts stehenden – Eingangsspalte wechseln sich 0 und L miteinander ab, wobei in der ersten Zeile eine 0 steht. Versuchen Sie eine ähnliche Regel für die zweit- und drittletzte Eingangsspalte anzugeben.

b) Wie ändert sich die Gruppenlänge, d. h. die Anzahl ununterbrochen aufeinanderfolgender 0 bzw. L von Spalte zu Spalte, wenn man von rechts nach links geht?

c) Geben Sie, beginnend mit der Eingangsspalte ganz rechts, für den Fall von fünf unabhängigen Variablen die Gruppenlängen an. Schreiben Sie diese auch in der Form „2 hoch . . .".

d) Wieviel Gruppen stehen in einer Funktionstabelle in der vordersten Spalte?

e) Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Gruppenlänge der vordersten Spalte und der Zeilenzahl der Tabelle? Wie groß muß daher die Zeilenzahl für eine, zwei, drei und vier Eingangsvariablen sein? Beachten Sie hier die Lösung von Übung 3/10 c) und benutzen Sie auch hier wieder die Schreibweise „2 hoch . .".

f) Vergleichen Sie in Bild 3/6 in den Spalten *B* und *C* die Werte in den ersten vier Zeilen und in den letzten vier Zeilen. Welche Aussage ergibt sich?

g) Ergänzen Sie im Sinne der Lösung von Übung 3/10 f) folgenden Satz:
„Sowohl beim Wert 0 als auch beim Wert L der vordersten Eingangsvariablen stehen in einer Funktionstabelle alle möglichen . .".

h) In der Lösung zu Übung 3/10 g) wurde eine Aussage gemacht über die „vorderste" Eingangsvariable in einer Funktionstabelle. Anscheinend hat sie dabei eine Sonderrolle gegenüber den anderen Eingangsvariablen. Das ist nicht zutreffend. Für jede Variable gilt nämlich die Aussage, daß sowohl bei ihrem Wert 0 als auch bei ihrem Wert L sämtliche Wertkombinationen aller übrigen Eingangsvariablen stehen. Dies wird deutlich, wenn man alle Zeilen einer Tabelle, wo eine bestimmte Eingangsvariable eine 0 hat, und alle, wo sie ein L hat, in verschiedener Weise einfärbt. Führen Sie dies für die Variable *B* in Bild 3/6 durch und überzeugen sich, daß in den beiden Zeilengruppen innerhalb der Spalten *A* und *C* paarweise die gleichen Wertkombinationen vorkommen. Welche Zeilenpaare sind das?

i) Versuchen Sie möglichst rationell auf unkariertem weißem Papier eine Funktionstabelle für drei Eingangsvariablen zu entwerfen.

j) Lesen Sie die 0-L-Kombinationen der fertigen Tabelle aus Übung 3/10 i) als Dualzahlen. Wie würden sie der Reihe nach in dezimaler Schreibweise lauten?

k) Geben Sie die Tabelle der Funktion $Z = \bar{A} \wedge B \wedge C$ an.

l) Die Tabelle der Funktion aus Übung 3/10 k) enthält in der abhängigen Spalte ein einziges L. Dieser Besonderheit der Funktionstabelle entspricht auch eine spezielle Form des algebraischen Ausdrucks einer solchen Funktion. Versuchen Sie, diesen zu charakterisieren. Wieviel bzw. welche der Variablen kommen vor? Wie oft kommt jede einzelne Variable vor? Welche Verknüpfungen kommen vor?

m) Formulieren Sie sämtliche acht Funktionen des in Übung 3/10 l) beschriebenen Typs. Bezeichnen Sie sie in Anlehnung an Übung 3/10 j) mit Z_0 bis Z_7, je nachdem in welcher Zeile der einmalige Funktionswert L vorkommt, z. B.
$Z_0 = \bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}$.

n) Aus der Funktionstabelle eines Minterms – nur einmal Funktionswert L – läßt sich der zugehörige algebraische Ausdruck nach einem einfachen Rezept entwickeln. Ergänzen Sie die folgende Regel für die algebraische Formulierung eines Minterms:
1. Sämtliche Eingangs-Variablen werden der Reihe nach hingeschrieben.
2. Zwischen je zwei Variablen wird die Verknüpfung . . . . eingefügt.
3. Hat eine Eingangsvariable in der Zeile, in der der Funktionswert L steht, selbst den Wert . . . , so wird sie . . . . .

o) Die Tabelle der Funktion
$Y = (\bar{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C})$
soll angegeben werden.

p) Die Funktion aus Übung 3/10 o) hat in ihrer Tabelle zweimal den Funktionswert L. Wie kann man solche Funktionen mittels Mintermen algebraisch zusammensetzen?

q) Geben Sie für die Funktion *X* aus der nachstehenden Funktionstabelle die Mintermnormalform an.

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	L	0
0	L	0	L
0	L	L	L
L	0	0	L
L	0	L	L
L	L	0	0
L	L	L	L

r) Die Funktion *X* aus Übung 3/10 q) kann auch durch folgende Ausdrücke dargestellt werden:
$X = (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge C)$,
$X = (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (B \wedge C)$.
Leiten Sie anhand der Formeln in Bild 2/27 jeden dieser beiden Ausdrücke aus der Mintermnormalform her. Vergleichen Sie die Herleitung der ersten Formel im Lösungsanhang, bevor Sie die zweite herzuleiten versuchen.

s) Zeichnen Sie für die Funktion X aus der Übung 3/10 r) gemäß den beiden algebraischen Darstellungen und gemäß ihrer Mintermnormalform je einen Logikplan. Welches ist die einfachste Darstellung von X?

t) Welche Vor- und Nachteile hat die Darstellung einer logischen Funktion in der Mintermnormalform?

Übung 3/11 ?

KV-Diagramm und algebraischer Ausdruck.

a) Zeichnen Sie für $Z = \bar{A} \wedge B \wedge C$ die Punktmengendarstellung und das KV-Diagramm.

b) Zeichnen Sie für $Y = (\bar{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C})$ die Punktmengendarstellung und das KV-Diagramm.

c) Im Falle von drei unabhängigen Variablen hat die Funktionstabelle acht Zeilen. Was entspricht ihnen im KV-Diagramm, was in der Punktmengendarstellung?

d) Zeichnen Sie für die Funktion
$X = (\bar{A} \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge C)$
$\vee (A \wedge B \wedge C)$,
$= Z_2 \vee Z_3 \vee Z_4 \vee Z_5 \vee Z_7$
die Punktmengendarstellung und das KV-Diagramm. Tragen Sie im KV-Diagramm in die jeweiligen Felder statt eines L die Nummer (Index bei Z) des zugehörigen Minterms ein. Ebenso soll diese Nummer in den zugehörigen schraffierten Teilbereich der Punktmengendarstellung eingetragen werden.

e) Für die Funktion X aus voriger Übung 3/11 d) gibt es zwei vereinfachte Darstellungen. Lesen Sie sie aus dem KV-Diagramm und aus der Punktmengendarstellung ab.

f) In Übung 3/10 r) wurde die Funktion X aus Übung 3/11 e) rechnerisch vereinfacht. Dabei mußte jeweils einer der Minterme mittels des Tautologiegesetzes zunächst doppelt hingeschrieben werden, damit man günstig ausklammern konnte. Welcher Minterm wurde für die erste, welcher für die zweite vereinfachte Darstellung von X doppelt benötigt? Was ergibt ein Vergleich mit der Lösung der Übung 3/11 e)?

g) Ein Teil der Vereinfachungsrechnung in Übung 3/10 r) lautete so:
$X = (\bar{A} \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (\bar{A} \wedge B \wedge C)$
$= (\bar{A} \wedge B) \wedge (\bar{C} \vee C) = (\bar{A} \wedge B) \wedge L = \bar{A} \wedge B.$

Hier werden zwei Minterme zusammengefaßt, die sich nur dadurch unterscheiden, daß eine der Variablen einmal mit und einmal ohne Negation vorkommt. Was entspricht dem in der KV-Tafel?

Übung 3/12 ?

In welchen Schritten wird ein Schaltproblem gelöst?

Übung 3/13 ? Fallstudie

Verriegelung von Großverbraucheranschlüssen

Eine Firma hat für eines ihrer Werke, in dem vier Schmelzöfen betrieben werden, einen Höchstwert für die Abnahme elektrischer Energie zu den Tagesspitzenzeiten vereinbart. Wird dieser Höchstwert überschritten, muß ein hoher Sonderpreis gezahlt werden. Die vier Schmelzöfen haben einzeln, prozentual auf den Höchstwert bezogen, folgende Anschlußwerte:
Ofen a: 65%, Ofen b: 45%, Ofen c: 25%, Ofen d: 25%.
Es soll eine Verriegelungsschaltung entworfen werden, die das Zuschalten eines Ofens unmöglich macht, wenn dadurch die zulässige Höchstabnahme überschritten würde. Dieselbe Schaltung soll ein Alarmsignal abgeben, wenn auf Grund einer Störung trotzdem mehr Öfen als zulässig gleichzeitig in Betrieb sein sollten. Es wird vorausgesetzt, daß niemals zwei Öfen zu genau demselben Zeitpunkt eingeschaltet werden.

a) Definieren Sie die abhängigen und die unabhängigen Variablen.

b) Erstellen Sie eine Funktionstabelle, in der zu den Wertkombinationen der unabhängigen Variablen anstatt eines Funktionswertes in Worten notiert ist: „Alarm", „Öfen b und d verriegeln" usw.

c) Erstellen Sie eine gemeinsame Funktionstabelle für sämtliche abhängigen Variablen.

d) Erstellen Sie das KV-Diagramm für die Funktionen V_c und V_d und geben dafür die Formeldarstellung.

e) Erstellen Sie die KV-Diagramme für die Funktionen V_a, V_b und P (ohne Formeldarstellung).

f) Lesen Sie aus den KV-Diagrammen der Funktionen V_a, V_b und P – vgl. Lösung von Übung 3/13 e) – möglichst einfache Formeldarstellungen ab.

g) Bestimmte Teilverknüpfungen kommen in mehreren der fünf Funktionen vor, z. B. $(A \wedge \overline{B})$ in V_c, V_d und V_b. Zur Aufwandsminderung könnte man versuchen, sie jeweils nur einmal im Logikplan zu realisieren und ihre Ausgangssignale geeignet zu verknüpfen. Welche Teilverknüpfungen aus zwei und drei Eingangsvariablen würden Sie vorschlagen?

h) Formulieren Sie die fünf Funktionen durch Einsetzen der Teilverknüpfungen aus Übung 3/13 g) um.

i) Entwerfen Sie gemäß der Lösung von Übung 3/13 h) einen Logikplan.

Zu Beispiel 1: Wasserversorgung eines Hochhauses. Das höchste Wohnhochhaus der Bundesrepublik Deutschland in Köln am Rhein.

4. Technische Ausführungen von Logikgliedern

Verschiedene Techniken – eine logische Funktion

Die Realisierbarkeit der logischen Verknüpfung von Signalen ist nicht an ein bestimmtes technisches System gebunden. Im Gegenteil, in der Praxis werden digitale Daten mit oft recht unterschiedlichen technischen Mitteln verarbeitet.

So ist die logische Verknüpfung digitaler Daten durch rein mechanische Einrichtungen, wie sie ein Zylinderschloß, Bild 4/1a, oder eine mechanische Rechenmaschine darstellen, ebenso möglich wie durch elektrische Schalter und Relais in einer Maschinensteuerung, Bild 4/1b. Einen außerordentlichen Aufschwung hat in jüngster Zeit die digitale Datenverarbeitung mit elektronischen Mitteln erfahren, populär geworden unter dem Schlagwort „Computertechnik". Auf diesem Gebiet selbst ist die technologische Entwicklung sehr beeindruckend: Kaum waren die ersten Großanlagen, bei denen noch viele tausend Halbleiterelemente und andere elektronische Bauteile einzeln auf Schaltplatinen verlötet wurden (diskrete Technik) in den sechziger Jahren im Einsatz, Bild 4/1c, so wurden sie schon von neueren Entwicklungen übertroffen, bei denen die Integrierung und Miniaturisierung der Schaltelemente neue Vorteile brachten, Bild 4/1d.

Aber auch im Bereich der pneumatischen und hydraulischen Steuerungen werden unter Ausnutzung strömungsdynamischer Gesetze in zunehmendem Maße digital arbeitende Systeme eingesetzt, Bild 4/1e, deren Grundbausteine die logischen Funktionen UND, ODER, NICHT erfüllen.

In diesem Kapitel werden verschiedene technische Ausführungen von Logiksystemen vorgestellt.

Wegen des Ausmaßes und der Vielfältigkeit des Themas ist dies hier aber nur anhand einiger ausgewählter Beispiele möglich.

Bild 4/1. Beispiele zur Realisierung der logischen UND-Funktion.

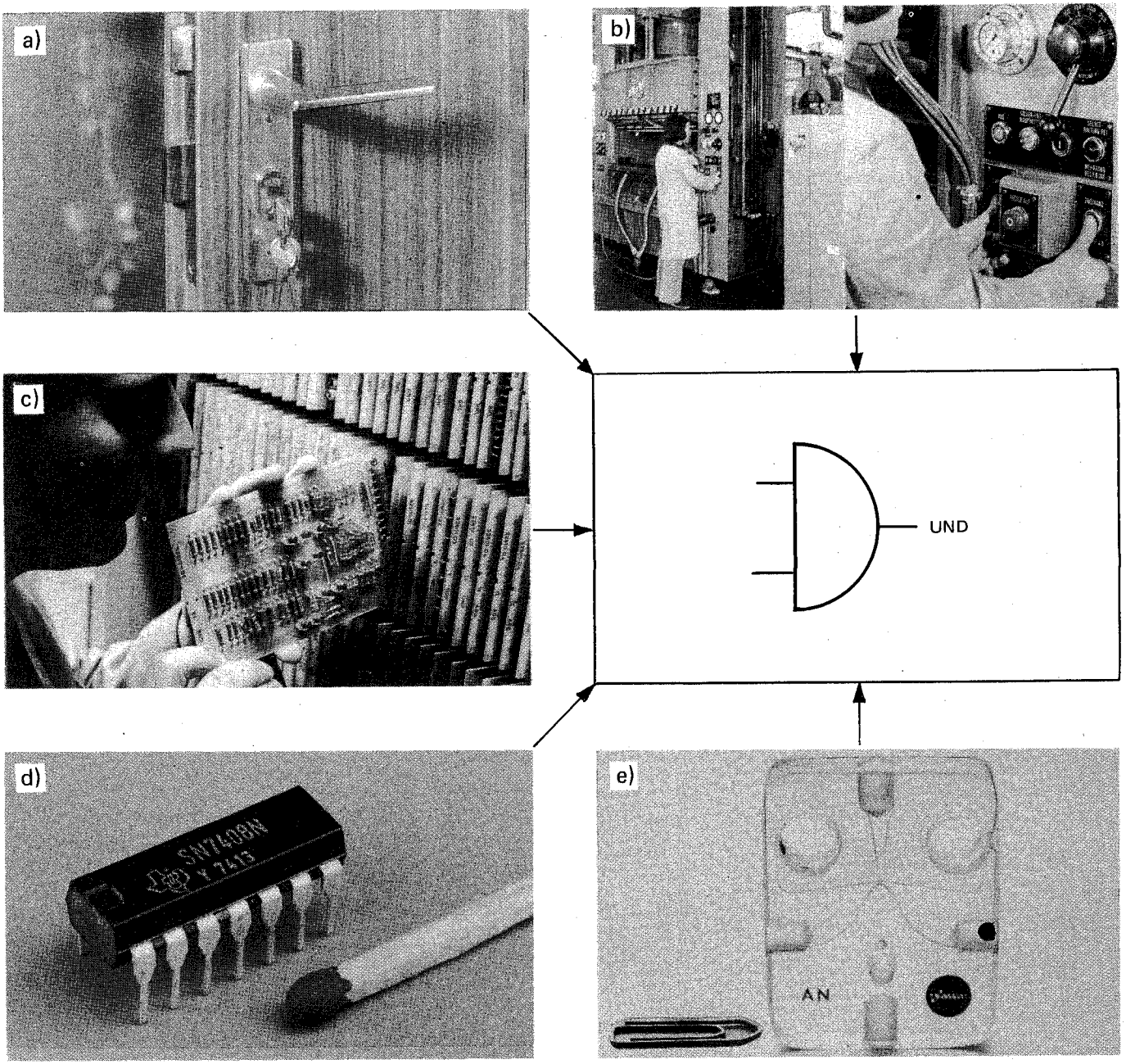
a) Ein Zylinderschloß als „mechanisches UND-Glied".

b) UND-Verknüpfung bei einer Sicherheitsschaltung: Die Maschine ist nur zweihändig einschaltbar.

c) Schaltplatine: elektronische Bauteile bilden eine UND-Verknüpfung.

d) Integrierte elektronische Schaltung, die mehrere UND-Glieder enthält.

e) Fluidik-Element als UND-Glied.


a)
b)
c)
UND
d)
SN7408N
e)
AN

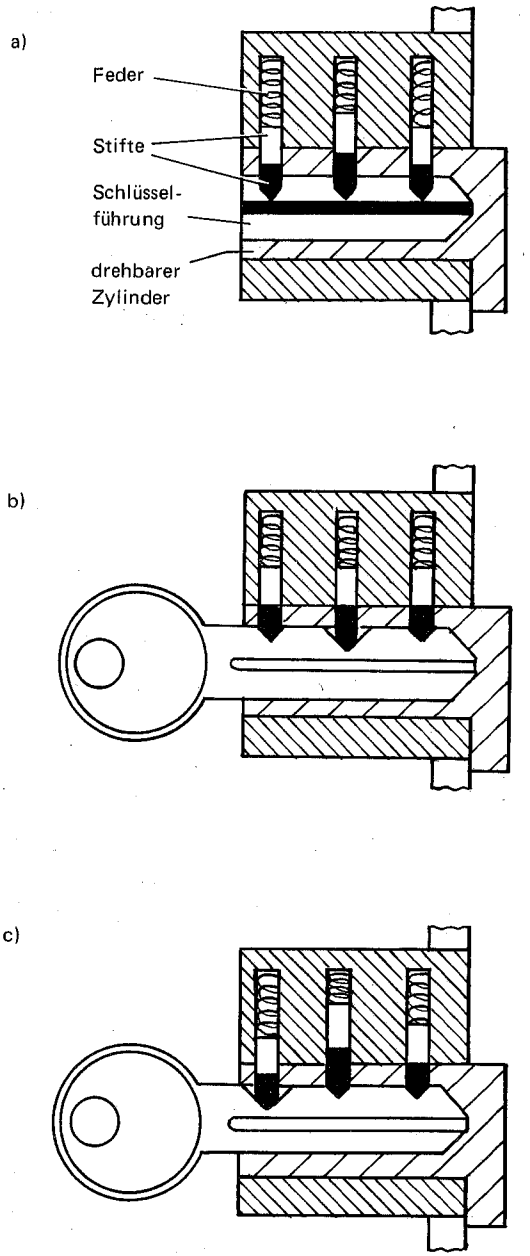


Bild 4/2. Wirkungsweise eines Zylinderschlosses.
a) Ohne Schlüssel.
b) Mit passendem Schlüssel.
c) Mit nicht passendem Schlüssel.

Ein Zylinderschloß als mechanisches UND-Element

Digitaltechnik und Zylinderschloß sind Begriffe, die man üblicherweise nicht spontan miteinander in Beziehung bringt. Trotzdem soll hier ein solches Schloß als simples Beispiel einer mechanischen Realisierung einer logischen Verknüpfung angeführt werden, um zu zeigen, daß es neben den elektrischen und elektronischen Verknüpfungsgliedern, die zweifellos die dominierende Rolle in der Digitaltechnik spielen, andere Möglichkeiten gibt und gab – schon ehe von der Digitaltechnik als einer besonderen Technik die Rede war.

Bei einem Zylinderschloß, Bild 4/2, wie es heute millionenfach als Türschloß zu finden ist, läßt sich der Schließzylinder nur drehen, wenn eine bestimmte Anzahl von Stiften eine von der Konstruktion her vorgeschriebene Lage einnimmt. Logisch gesehen muß eine UND-Bedingung erfüllt werden, damit das Schloß geöffnet werden kann.

Bild 4/2a zeigt ein vereinfachtes Modell eines Zylinderschlosses im Schnitt: In jeder der seitlichen Bohrungen, die sich bis in den Zylinder fortsetzen, liegen jeweils zwei unterschiedlich lange Stiftstücke übereinander. Sie werden durch Federn in Richtung zur Zylinderachse gedrückt und verhindern in dieser Lage, daß der Zylinder gedreht werden kann.

Damit sich der Zylinder drehen läßt, müssen die Stifte mit einem Schlüssel, der passende Einkerbungen haben muß, gerade so weit angehoben werden, daß die Berührungsstellen zwischen zwei Stiftteilen in jeder Bohrung auf gleicher Höhe mit der Begrenzungsfläche des Zylinders liegen, Bild 4/2b.

Wenn ein falscher Schlüssel verwendet wird, Bild 4/2c, so werden nicht alle Stifte in die richtige, zum Drehen des Zylinders erforderliche Einstellung gehoben. Im dargestellten Beispiel müßte der linke Stift mehr und der mittlere Stift weniger angehoben werden; der rechte Stift dagegen müßte in der gezeichneten Lage verbleiben, damit die logische UND-Bedingung erfüllt würde und der Zylinder sich drehen ließe.

Andere mechanische Ausführungen logischer Verknüpfungen sind z. B. in Fernschreibgeräten, mechanischen Rechenmaschinen und verschiedenen Produktionsmaschinen anzutreffen.

Schalter und Relais: Elemente logischer Schaltungen

Sehr viele industrielle Digitalschaltungen besitzen als Grundbausteine elektromechanische Schalter, Relais und Schütze. Es sind digital arbeitende Schaltelemente im klassischen Sinne. Die meisten von ihnen können nur binär arbeiten, d. h. nur zwei mögliche Schalt- bzw. Signalzustände einnehmen. Aufzugsteuerungen, Verkehrssignalanlagen, diverse Maschinensteuerungen, Fernsprechvermittlungseinrichtungen – um nur einige Beispiele zu nennen – sind mit diesen elektromechanischen Schaltelementen aufgebaut.

Und auch die moderneren elektronischen Digitalbausteine werden die elektromechanischen Schaltglieder voraussichtlich nicht überall ersetzen können, vielfach werden sie sie nur ergänzen. Die hohe elektrische Belastbarkeit, die ausgezeichnete elektrische Trennung von Schaltkreisen, die relative Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen, die konstruktive Flexibilität und die technische Unkompliziertheit sind einige Vorzüge der elektromechanischen Schaltglieder bei vielen Aufgabenstellungen.

Daß sich in jeder aus binären Schaltelementen bestehenden Schaltung die Schaltfunktionen als logische Grundfunktionen deuten lassen, sei an den nebenstehenden einfachen Beispielen demonstriert: Eine Haus-Klingelanlage, Bild 4/3, arbeitet nur sinnvoll, wenn sie die logische ODER-Funktion erfüllt, wenn also Taster 1 oder Taster 2 oder beide betätigt werden können, um die Klingel ansprechen zu lassen.

Bei der Steuerschaltung für den Motor eines Rührwerkes muß die UND-Bedingung erfüllt werden, Bild 4/4, denn der Motor darf aus Sicherheitsgründen nur einschaltbar sein, wenn die Bedienungsperson mit beiden Händen gleichzeitig die Taster b1 und b2 drückt. So sollen Handverletzungen durch das laufende Rührwerk vermieden werden.

In der einfachen Raumschutzanlage in Bild 4/5 verbirgt sich die NICHT-Funktion. Im alarmbereiten Zustand der Anlage fließt durch die Meldeschleife ein Strom, das Relais hält den Kontakt geöffnet, die Hupe ertönt nicht. Wird aber die Schleife zerrissen und damit der Relaisstrom unterbrochen, so schließt der Relaiskontakt – die Hupe gibt Alarm.

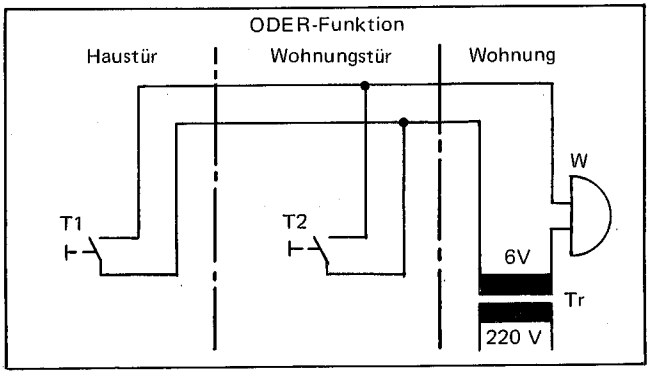


Bild 4/3. Klingelanlage.
T1, T2 Taster; Tr Transformator; W Wecker

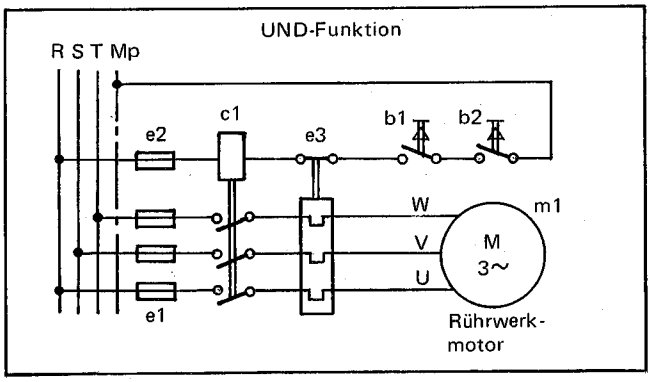


Bild 4/4. Sicherheitsschaltung für ein Rührwerk.
R, S, T, Mp Leiter des Drehstromnetzes; e1, e2 Schmelzsicherungen; e3 Überstromschutzschalter; c1 Schaltschütz; b1, b2 Taster; m1 Motor

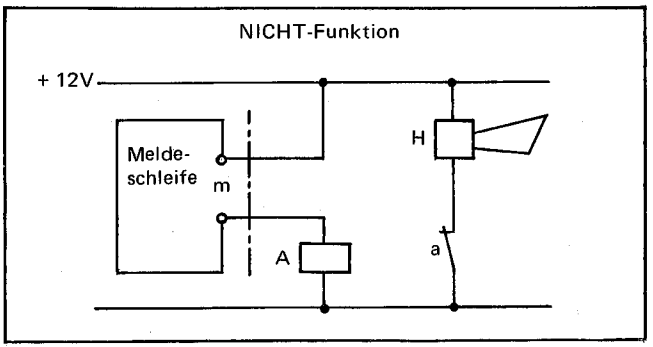


Bild 4/5. Raumschutzanlage.
m Drahtbruch-Meldeschleife; A Relaisspule; a Relaiskontakt; H Hupe

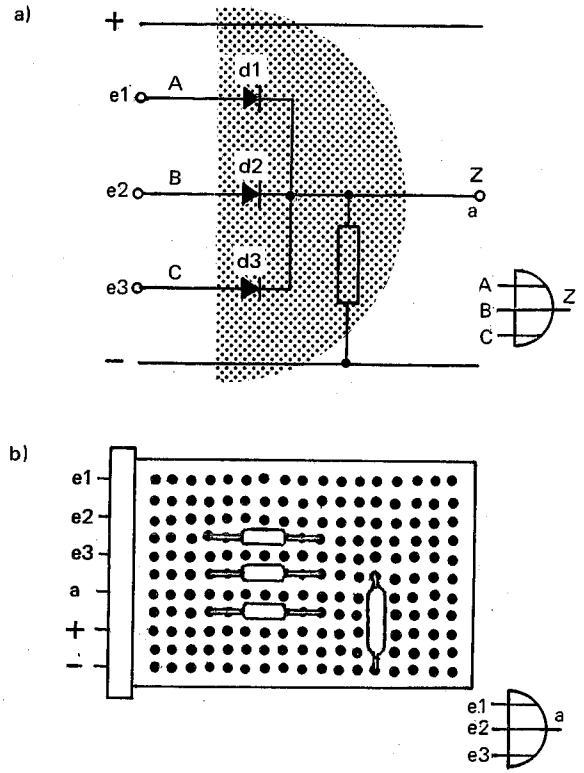


Bild 4/6. Ausführung einer logischen Schaltung mit elektronischen Bauelementen (Widerstands-Dioden-Logik).
a) Schaltung.
b) Realisierung in diskreter Technik auf einer Schaltplatine.

Bild 4/7. Integrierte elektronische Digitalbausteine auf einer Schaltplatine.

Elektronische Logikglieder

Erst seitdem digitaltechnische Schaltglieder mit elektronischen Halbleiterbauelementen realisiert werden, hat die Digitaltechnik ihren entscheidenden Durchbruch als eigenständige Technik erfahren.

Elektronische Verknüpfungselemente lassen sich klein und platzsparend bauen, sie arbeiten kontaktlos, schalten sehr schnell und ihr Leistungsverbrauch bei der Signalverarbeitung ist gering. Mit solchen Schalteinheiten lassen sich umfangreiche Digitalschaltungen aufbauen, die in anderer Technologie einfach nicht praktikabel wären.

Als ein erstes Beispiel für die elektronische Ausführung eines Verknüpfungsgliedes ist in Bild 4/6a die Schaltung eines ODER-Gliedes aus Dioden und einem Widerstand dargestellt. Es besitzt neben den Anschlüssen für die Signaleingänge und den Signalausgang noch Anschlüsse für die Versorgungsspannung. Wie elektronische Schaltungen als logische Verknüpfungsglieder funktionieren, wird in den folgenden Abschnitten erläutert.

Mittlerweile gibt es eine umfassende Technologie der elektronischen Digitalschaltungen. So lassen sich logische Verknüpfungen nicht nur als Kombinationen von Dioden mit Widerständen, sondern z. B. auch von Dioden mit Transistoren oder von Transistoren mit Transistoren herstellen.

Man spricht von „Logikfamilien" und verwendet in diesem Zusammenhang Bezeichnungen wie Widerstands-Dioden-Logik (RDL), Dioden-Transistor-Logik (DTL) oder Transistor-Transistor-Logik (TTL), um einige zu nennen.

Für den Anwender sind die unterschiedlichen inneren Ausführungen der elektronischen Logikbausteine insofern von Bedeutung, als davon verschiedene praktisch wichtige Eigenschaften und Daten wie Schaltzeiten, Störsicherheit, Leistungsbedarf, Belastbarkeit und Kombinationsfähigkeit mit anderen Systemen abhängen.

Bild 4/6b zeigt die technische Realisierung der ODER-Schaltung nach Bild 4/6a mit einzelnen elektronischen Bauelementen auf einer Schaltplatine. Diese Art der Ausführung wird als diskrete Technik bezeichnet im Gegensatz zur integrierten Schaltungstechnik, wo viele einzelne elektronische Schaltelemente zu logischen Funktionseinheiten in einem Gehäuse zusammengefaßt werden. Die Schaltplatine in Bild 4/7 enthält mehrere integrierte elektronische Digitalbausteine.

Darstellungsmöglichkeiten logischer Signale

Die logischen Zustände L und 0 müssen in jeder technischen Schaltung in irgendeiner Form durch bestimmte Beträge einer physikalischen Größe dargestellt werden.

In elektronischen Schaltungen wird dafür vorwiegend die elektrische Spannung gewählt. In pneumatischen Systemen, auf die später noch eingegangen wird, ist meist der Druck die repräsentierende Größe für logische Signale.

Wichtig ist in jedem Fall, daß zwei unterscheidbare Signalzustände gesichert sind. Zwischenwerte müssen ausgeschlossen sein.

Zum Beispiel kann für die Signalverarbeitung in einem elektronischen System festgelegt werden, daß eine Spannung von + 12 V als das L-Signal und ein Spannungswert von 0 V im logischen Sinne als das 0-Signal gilt, Bild 4/8. Andere Spannungswerte werden in diesem angenommenen System nicht als logische Signale verarbeitet und müssen ausgeschlossen bleiben.

Selbstverständlich können beliebige andere Werte festgelegt werden. So kann, um ein weiteres Beispiel zu nennen, das L-Signal durch eine Spannung von – 6 V (bezogen auf das Nullpotential) ausgedrückt werden; das Nullpotential der Spannung kann selbst den Logikzustand 0 verkörpern, Bild 4/9.

Bei vielen technisch realisierten elektronischen Digitalsystemen werden alle Spannungen, die innerhalb eines bestimmten Wertbereichs liegen, als Logikzustand L verarbeitet. Ebenso werden alle Spannungen, die unterhalb einer festgelegten Wertgrenze in einem bestimmten Wertbereich liegen, als logischer Zustand 0 gewertet.

Zum Beispiel wird im Bild 4/10 angenommen, daß Spannungen im Bereich von 2,8 V bis 6 V als L-Signal und Spannungen im Bereich von 0 V bis 0,8 V als 0-Signal gewertet werden.

Wertschwankungen der Spannungen bleiben auf die Signalverarbeitung ohne Einfluß, solange sie sich nur in den beiden festgelegten Wertbereichen auswirken.

Praktische Vorteile ergeben sich daraus vor allem beim Zusammenschalten vieler digitaler Schaltglieder zu großen Schaltungen, wo ein absolutes Einhalten von Spannungswerten nur schwer zu realisieren wäre.

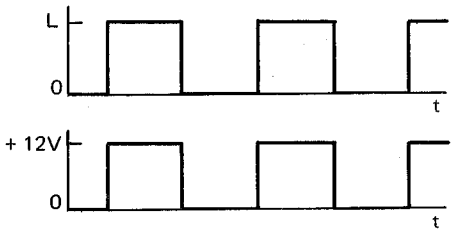


Bild 4/8. Darstellung des L-Signals durch eine positive Spannung von +12 V und des 0-Signals durch den Spannungswert 0 V.

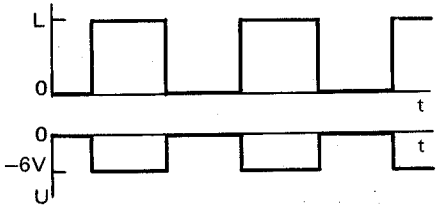


Bild 4/9. Darstellung des L-Signals durch eine negative Spannung von –6 V und des 0-Signals durch den Spannungswert 0 V.

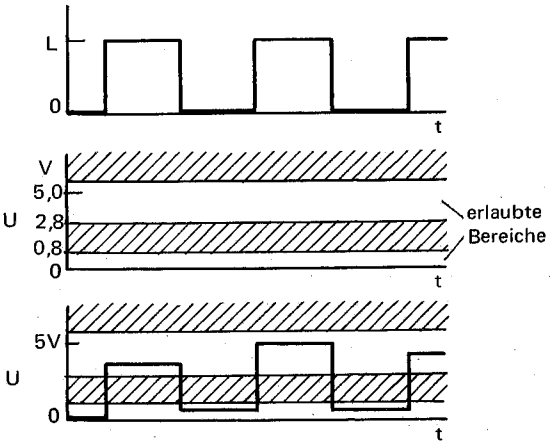


Bild 4/10. Darstellung des L-Signals durch einen Spannungsbereich von 2,8 bis 6 V und des 0-Signals durch einen Spannungsbereich von 0 bis 0,8 V.

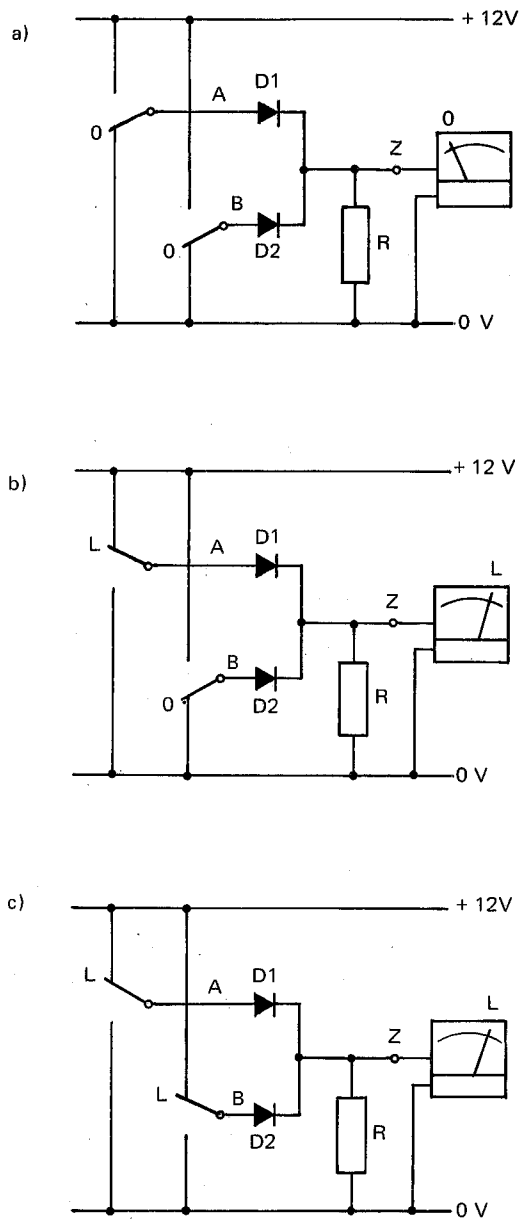


Bild 4/11. Elektronische ODER-Schaltung mit zwei Eingängen (Darstellung verschiedener Signalzustände).

a) A = 0; B = 0; Z = 0
b) A = L; B = 0; Z = L
c) A = L; B = L; Z = L

Elektronische ODER-Schaltung

Mit der einfachen Schaltung in Bild 4/11, die als elektronische Bauelemente zwei Dioden und einen Widerstand enthält, kann eine logische Signalverknüpfung im Sinne der ODER-Funktion realisiert werden.

Als Eingänge für binäre Signale gelten in dieser Schaltung die Diodenanschlüsse A und B. Als Ausgang für binäre Signale gilt der Anschlußpunkt Z, wo die Dioden mit dem Widerstand R verbunden sind.

Als L-Signal wertet die Schaltung das positive Potential der Versorgungsspannung; als 0-Signal wird das Nullpotential der Versorgungsspannung verstanden. Der Ausgang Z der ODER-Schaltung führt, logisch gesehen, dann L-Signal, wenn dort etwa die Spannung +12V gemessen wird. Der im Bild eingezeichnete Spannungsmesser soll zur Signalanzeige dienen.

In Bild 4/11a sind beide Eingänge der ODER-Schaltung über Schalter mit dem Nullpotential der Versorgungsspannung verbunden; beide Eingänge erhalten somit im logischen Sinne 0-Signal. Unter diesen Umständen muß am Schaltungsausgang Z ebenfalls 0-Signal auftreten, weil keine Verbindung zum positiven Potential der Versorgungsspannung besteht.

In Bild 4/11b hingegen ist für einen Schaltungseingang, nämlich für Eingang A, eine Verbindung zum Pluspotential der Versorgungsspannung eingezeichnet worden: Nun besteht über den Schalter bei A und über die in Durchlaßrichtung liegende Diode D1 eine gut leitende Verbindung zwischen dem Pluspotential und dem Schaltungsausgang Z. Der Spannungsmesser am Schaltungsausgang zeigt eine positive Spannung von etwa 12 V an und signalisiert damit, logisch gesehen, den Zustand „L".

Aus dem in Bild 4/11b dargestellten Schaltungszustand der elektronischen Schaltung läßt sich auch die Notwendigkeit der Verwendung der Dioden erläutern: Die Diode D2 am Eingang B liegt in diesem Schaltungszustand elektrisch in der Sperrichtung; in diesem Zustand kann kein Strom durch sie vom Plus- zum Nullpotential fließen. Würde diese Diode in der Leitung fehlen, so bestünde für die Versorgungsspannung ein Kurzschluß.

Aus Bild 4/11c schließlich wird deutlich,daß das Anschließen beider Schaltungseingänge an das Pluspotential keine Signaländerung gegenüber dem Schaltungszustand nach Bild 4/11b für den Schaltungsausgang Z bringt; d. h. der Ausgang Z führt selbstverständlich auch dann L-Signal,

wenn beide Eingänge der Schaltung mit L-Signal versorgt werden.

Die Schaltung erfüllt somit die logische ODER-Funkton $Z = A \vee B$.

Elektronische UND-Schaltung

Mit einer aus Dioden und einem Widerstand bestehenden elektronischen Schaltung kann auch die logische UND-Funktion realisiert werden, Bild 4/12. Eine solche UND-Schaltung unterscheidet sich jedoch von der entsprechenden ODER-Schaltung schon äußerlich dadurch, daß der verwendete Widerstand R mit dem einen Anschluß direkt am Pluspotential der Versorgungsspannung liegt und die Dioden nun umgekehrt angeschlossen sind.

Auch in dieser Schaltung soll der logische Zustand „L" durch eine Spannung von etwa +12 V und der logische Zustand „0" durch einen Spannungswert von 0 V bzw. niedrige, nahe bei 0 V liegende Spannungswerte repräsentiert werden.

In Bild 4/12a sind die beiden Schaltungseingänge A und B mit dem Nullpotential verbunden. Beide erhalten somit definitionsgemäß logisch das Signal „0".

Über die in diesem Schaltungszustand in Durchlaßrichtung liegenden Dioden ist der Schaltungsausgang Z mit dem Nullpotential verbunden, so daß auch er logisch 0-Signal führt.

Ein vom Pluspotential der Versorgungsspannung über den Widerstand R und die Dioden zum Nullpotential fließender Strom erzeugt am Widerstand einen Spannungsabfall von etwa 12 V, wenn die Dioden als gut leitend betrachtet werden.

Wenn, wie Bild 4/12b zeigt, ein Schaltungseingang mit dem Pluspotential verbunden wird, bleibt der Signalzustand am Schaltungsausgang Z weiterhin „0". Die Diode D1 am Schaltungseingang A ist in Sperrichtung geschaltet; sie läßt keinen Strom fließen. Über die Diode D2 ist der Schaltungsausgang Z jedoch noch mit dem Nullpotential verbunden.

Wenn schließlich beide Schaltungseingänge an das positive Potential angeschlossen werden, Bild 4/12c, besteht in der Schaltung keine leitende Verbindung mehr zwischen dem Schaltungsausgang Z und dem Nullpotential. Der Schaltungsausgang Z erhält über den Widerstand R das Pluspotential der Versorgungsspannung; denn da kein

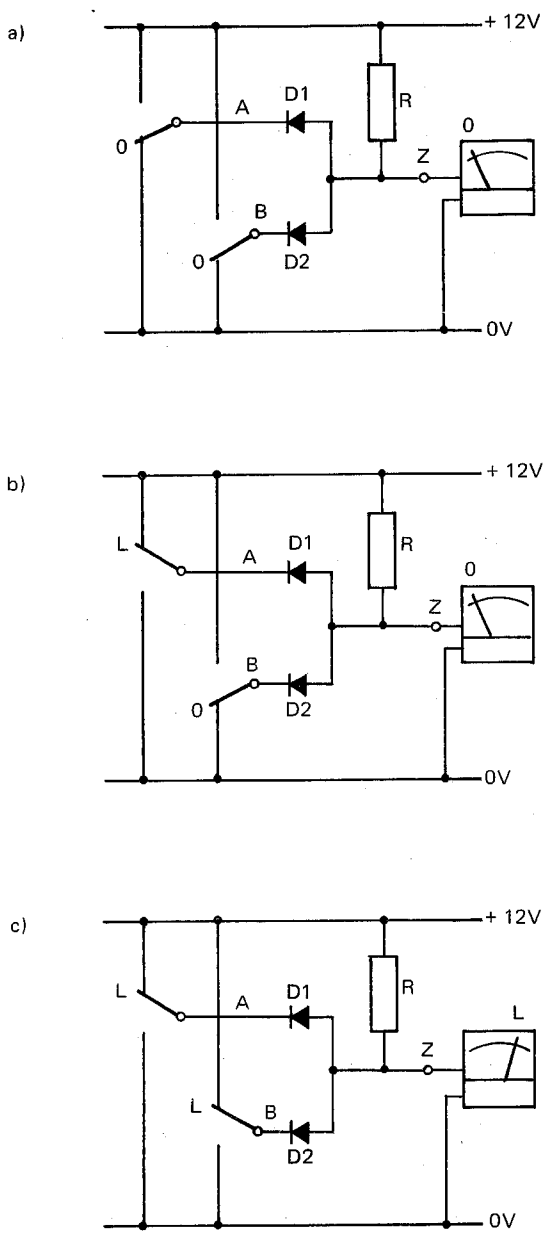


Bild 4/12. Elektronische UND-Schaltung mit zwei Eingängen (Darstellung verschiedener Zustände).
a) A = 0; B = 0; Z = 0
b) A = L; B = 0; Z = 0
c) A = L; B = L; Z = L

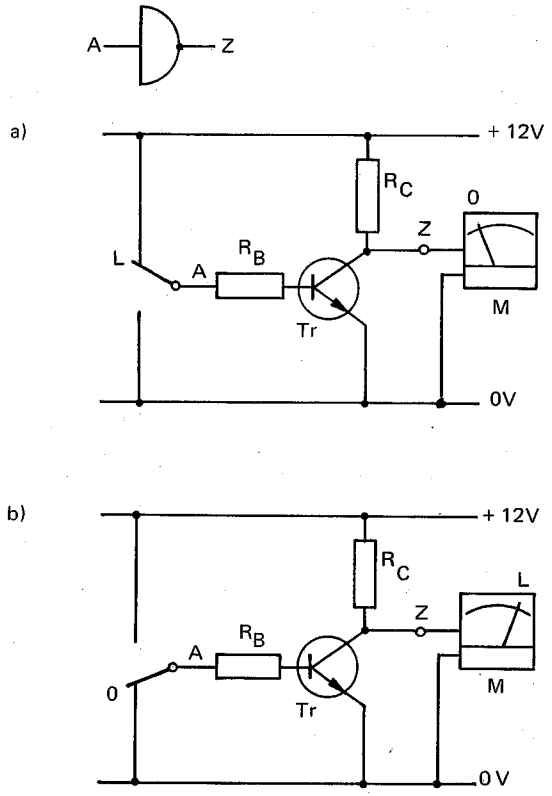


Bild 4/13. Transistorschaltung als Signalumkehrstufe.
Tr Transistor; R_B, R_C Widerstände; M Meßgerät; A Schaltungseingang; Z Schaltungsausgang

a) A = L; Z = 0
b) A = 0; Z = L

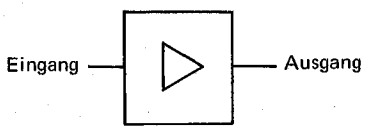


Bild 4/14. Symbol für Leistungsverstärker.

Strom mehr über den Widerstand fließt, entsteht an diesem kein Spannungsabfall. Das Anzeigegerät am Schaltungsausgang Z (welches hier als ideal im elektrischen Sinne, d.h. ohne nennenswerte Stromaufnahme arbeitend, angenommen wird) signalisiert L-Signal.
Die Schaltung erfüllt also die logische UND-Funktion $Z = A \wedge B$.

NICHT-Stufe: Ein Transistor negiert Signale

Um alle logischen Grundfunktionen in elektronischen Schaltungen erfüllen zu können, sind neben UND- und ODER-Verknüpfungen noch Schaltstufen erforderlich, die die Signalumkehr, also die NEGATION von Signalen, ausführen können.

Diese Aufgabe kann zum Beispiel der Transistor übernehmen, Bild 4/13:

Der Transistor fungiert in einer sog. NICHT-Stufe als kontaktloser Schalter, der die Schaltzustände „durchlässig" und „gesperrt" einnehmen kann, wenn er entsprechend angesteuert wird.

In der Schaltstufe nach Bild 4/13 dient der Basisanschluß des Transistors über einen Strombegrenzungswiderstand R_B als Schaltungseingang A. Der Kollektoranschluß des Transistors, der über einen Arbeitswiderstand R_C mit dem positiven Potential der Versorgunsspannung verbunden ist, gilt als Schaltungsausgang Z der Negationsstufe.

Wenn an den Eingang A positives Potential, also L-Signal, angelegt wird, wird der Transistor durchlässig, d.h. seine Kollektor-Emitter-Strecke wird gut leitend. Dadurch wird der Schaltungsausgang Z an das Nullpotential gelegt, während die Versorgungsspannung nun hauptsächlich am Arbeitswiderstand R_C abfällt. Das Anzeigegerät am Schaltungsausgang zeigt 0-Signal an.

Wird hingegen der Schaltungseingang A mit dem Nullpotential verbunden (d.h. wird 0-Signal zugeführt), so sperrt der Transistor. Seine Kollektor-Emitter-Strecke wird also nichtleitend. Über den Arbeitswiderstand R_C erhält der Schaltungsausgang Z infolgedessen Pluspotential und führt somit L-Signal.

Für die Signalverarbeitung in der Negationsstufe ergibt sich folglich zusammenfassend:

Wenn die Schaltstufe am Eingang A ein 0-Signal erhält, führt der Ausgang Z den Signalzustand L und umgekehrt.

Die Schaltung erfüllt also die logische Funktion $Z = \bar{A}$.

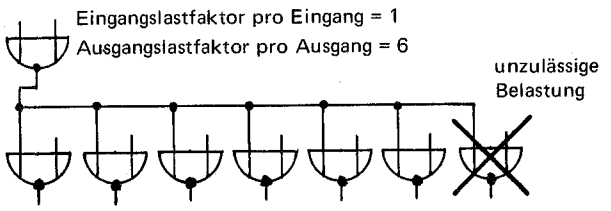


Bild 4/15. Beispiel zu den Begriffen „Eingangslastfaktor" (FAN-IN) und „Ausgangslastfaktor" (FAN-OUT).

Der Transistor als Signalverstärker

Für den praktischen Betrieb elektronischer Digitalschaltungen ist eine weitere Fähigkeit des Transistors von Bedeutung: Der Transistor kann Signale verstärken, s. a. Bild 4/14. Die Notwendigkeit der Signalverstärkung ergibt sich in elektronischen Logikschaltungen aus folgendem:

Durch Spannungsabfälle kommt es in elektronischen Schaltungen zu Minderungen bzw. Änderungen der festgelegten Spannungswerte, die die logischen Zustände „L" und „0" repräsentieren sollen. Weichen die Signalspannungswerte in unzulässiger Weise von den erlaubten Wertbereichen ab (s. a. Bild 4/10), so besteht die Gefahr der Falschauswertung der Signale.

Transistoren als Verstärker in Logikstufen dienen deshalb dazu, Signalspannungen, die zwar noch als L-Signale gewertet werden, aber schon an der unteren Grenze des praktisch zugelassenen L-Signal-Wertbereichs liegen, so weit zu verstärken, daß sie bei der weiteren Signalverarbeitung sicher als systemgemäße logische Signale verstanden werden.

Trotz der Signalverstärkung müssen jedoch beim Zusammenschalten elektronischer Logikglieder gewisse Regeln in bezug auf die Anzahl der zusammenschaltbaren Schalteinheiten beachtet werden, Bild 4/15; denn jeder Schaltgliedeingang stellt für einen Schaltgliedausgang, an den er angeschlossen ist, eine Belastung dar.

In der Regel drückt man innerhalb eines technischen Logiksystems die Belastung, die ein Eingang eines Schaltgliedes auf den Ausgang eines vorgeschalteten Schaltgliedes ausübt, durch den sog. Eingangslastfaktor aus (üblich ist auch der englische Ausdruck FAN-IN); d. h. man bezieht die Angabe der Belastung auf eine Grundlasteinheit (z. B. 1,6 mA) und drückt sie in ganzzahligen Vielfachen davon aus.

Ähnliches gilt für die Belastbarkeit eines Schaltgliedausgangs, die man durch den sog. Ausgangslastfaktor (auch FAN-OUT) angibt.

Ist zum Beispiel bei einem Schaltgliedausgang der Ausgangslastfaktor 10, so können 10 Schaltgliedeingänge mit dem Eingangslastfaktor 1, aber nur 5 Schaltgliedeingänge mit dem Eingangslastfaktor von jeweils 2 angeschlossen werden.

Die schwachen Steuersignale aus den Verknüpfungsschaltungen müssen verstärkt werden, damit die angeschlossenen Einrichtungen zur Ausgabe und Auswertung der Signale sicher ansprechen. Dazu sind besondere Leistungsverstärkerstufen erforderlich. Schon in ganz einfachen Fällen, z.B. wenn nur eine Anzeigelampe von einer elektronischen Logikschaltung angesteuert werden soll, muß zwischen der Logikschaltung und der Lampe ein Verstärker eingeschaltet werden; man kann hierfür z.B. eine Transistorschaltstufe oder ein Relais benützen.

Signalausgabe und Leistungsverstärkung

Die meisten Digitalschaltungen werden zweckmäßigerweise aufgegliedert in einen Steuerteil, in dem primär die Signalverknüpfung abläuft, und in einen Leistungsteil, mit dem die Signale an Stellglieder usw. ausgegeben werden.

Bild 4/16 zeigt die Schaltschränke einer digital gesteuerten Anlage zur Kalksandstein-Gewinnung.

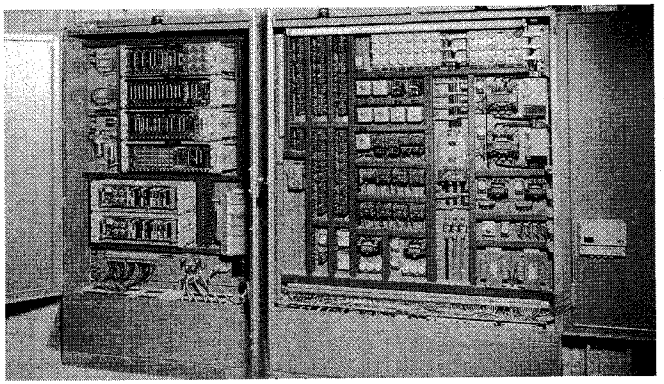
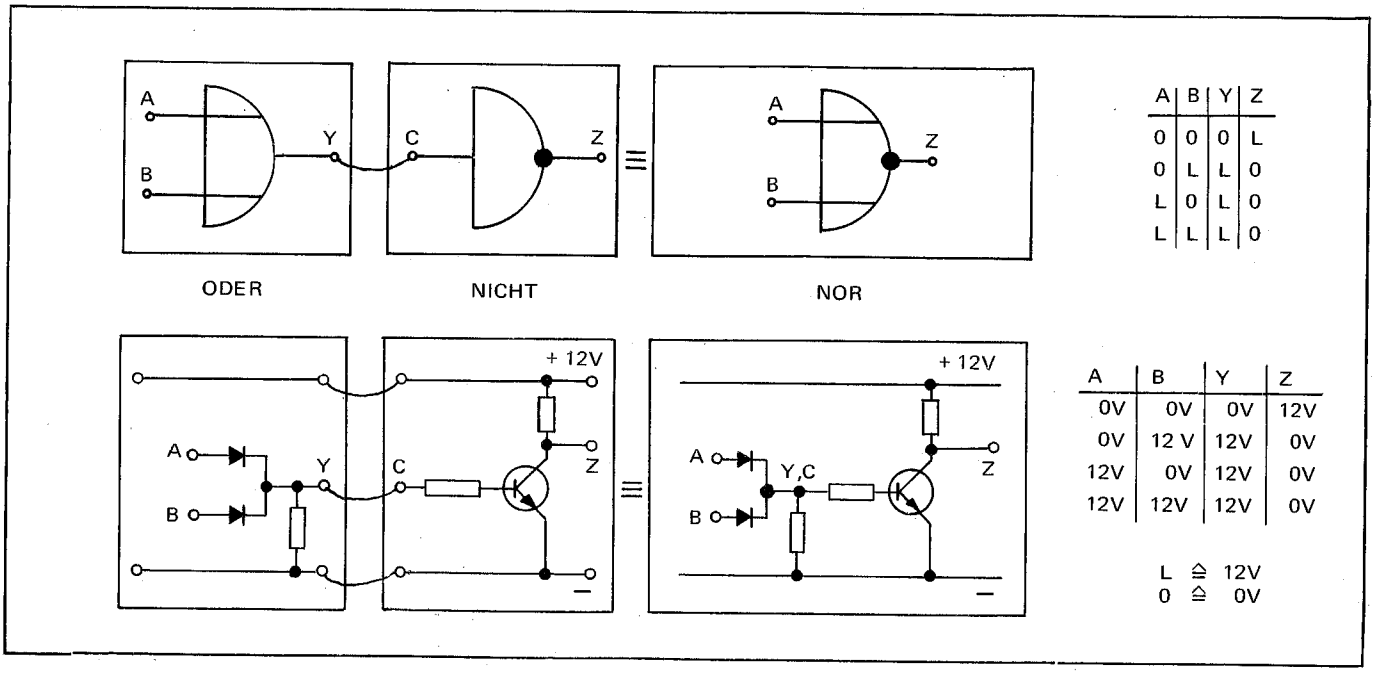


Bild 4/16. Blick in die Schaltschränke einer digital gesteuerten Anlage zur Kalksandsteingewinnung.
Im linken Schaltschrank befindet sich die elektronische Steuerung, im rechten Schrank die elektromechanische Schützsteuerung.



A	B	Y	Z
0	0	0	L
0	L	L	0
L	0	L	0
L	L	L	0

A	B	Y	Z
0V	0V	0V	12V
0V	12 V	12V	0V
12V	0V	12V	0V
12V	12V	12V	0V

L ≙ 12V
0 ≙ 0V

Bild 4/17. NOR-Stufe aus elektronischen Bauelementen.

ODER mit NICHT ergibt NOR

Wegen der technischen Vorteile, die die Verstärkung der Signale in Logikelementen bringt, sind die auf dem Markt befindlichen Logikbausteinsysteme der verschiedenen Herstellerfirmen überwiegend mit signalverstärkenden Bauelementen ausgestattet. Das bedeutet zum Beispiel, daß einem elektrischen ODER-Glied aus Dioden und einem Widerstand eine Transistorstufe zur Signalverstärkung nachgeschaltet wird, Bild 4/17.

Aus der Verwendung dieser Verstärkerstufe ergibt sich aber zwangsläufig eine Signalumkehr.

Logisch gesehen besteht die Verknüpfungsschaltung mit der nachgeschalteten Verstärkerstufe aus einem ODER- und einem NICHT-Glied.

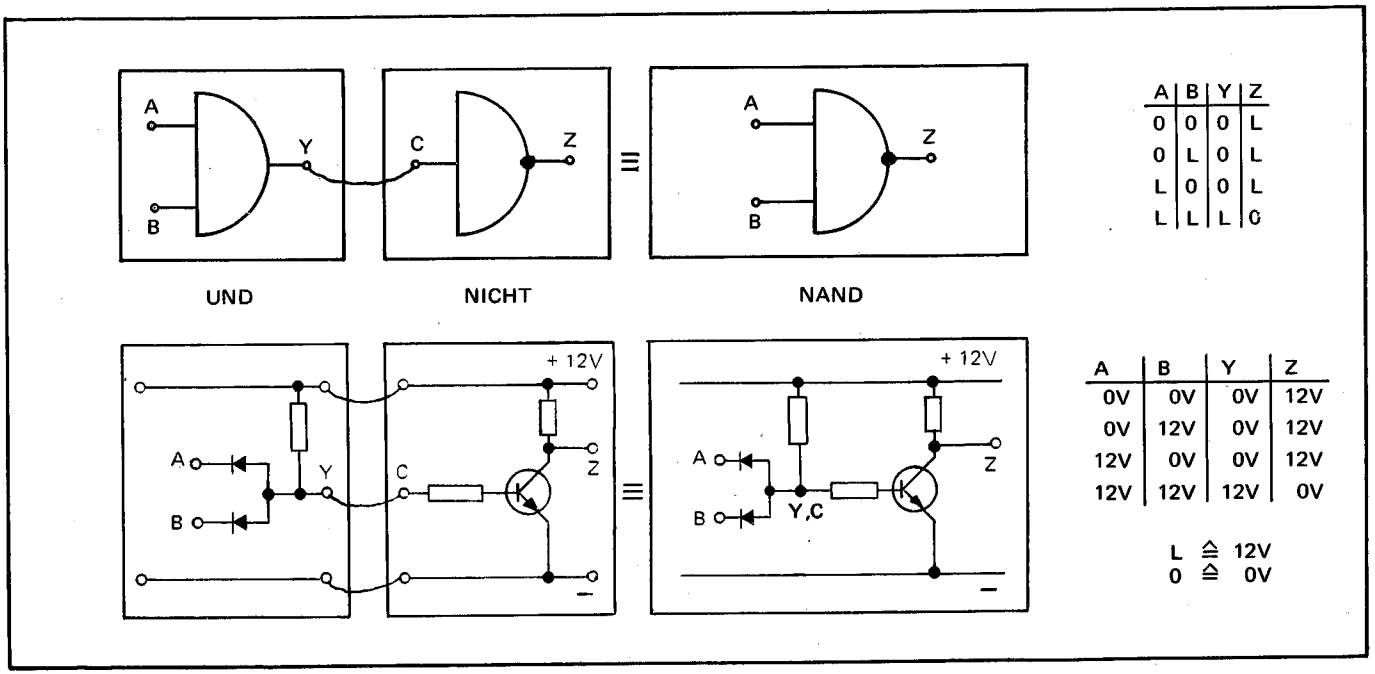
Da diese beiden Wirkungsglieder meist bei der Produktion schaltungsmäßig und technologisch zu einer Bausteineinheit zusammengefaßt werden, betrachtet man sie gewöhnlich auch als logische Grundeinheit.

Man verwendet dafür die Bezeichnung NOR – eine Bezeichnung, die aus dem Englischen kommt und aus Teilen der Wörter NOT und OR (für NICHT und ODER) entstanden ist.

Die Funktionstabelle für ein NOR-Glied mit zwei Eingängen ist in Bild 4/17 zu sehen. Aus ihr ist entnehmbar, daß in all jenen Fällen am Schaltungsausgang ein 0-Signal erscheint, in denen mindestens an einem Eingang ein L-Signal ansteht.

Nur in einem Fall führt der Schaltungsausgang L-Signal, nämlich dann, wenn an allen Eingängen des NOR-Gliedes 0-Signal anliegt.

Es gilt also $Y = A \vee B$ und $Z = \bar{Y}$ und somit $Z = \overline{A \vee B}$.



A	B	Y	Z
0	0	0	L
0	L	0	L
L	0	0	L
L	L	L	0

A	B	Y	Z
0V	0V	0V	12V
0V	12V	0V	12V
12V	0V	0V	12V
12V	12V	12V	0V

L ≙ 12V
0 ≙ 0V

Bild 4/18. NAND-Stufe aus elektronischen Bauelementen.

UND mit NICHT ergibt NAND

Ebenso wie ODER- und NICHT-Stufen können UND- und NICHT-Stufen hintereinandergeschaltet und zu einer Einheit zusammengefaßt werden, Bild 4/18.

Das aus einer UND- und einer NICHT-Stufe entstehende neue logische Element wird als NAND-Stufe bezeichnet. Der Ausdruck NAND stammt wie der Ausdruck NOR aus dem Englischen, und zwar besteht er aus Teilen der Wörter NOT und AND (für NICHT und UND).

Aus der Funktionstabelle für ein NAND-Element läßt sich ablesen, daß am Signalausgang immer dann L-Signal auftritt, wenn wenigstens an einem Eingang 0-Signal liegt. Nur in einem Fall, nämlich dann, wenn an allen Eingängen L-Signal ansteht, ist das Ausgangssignal 0!

Ausgedrückt in mathematischer Schreibweise gilt für diese Logikschaltung: $Y = A \wedge B$ und $Z = \bar{Y}$ und somit $Z = \overline{A \wedge B}$.

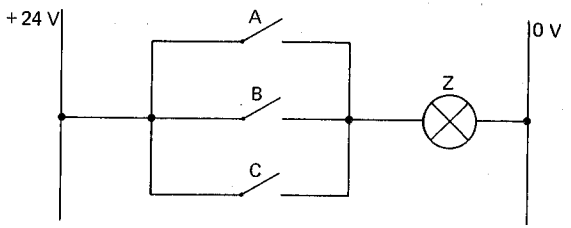
Diese Gesetzmäßigkeiten gelten natürlich auch entsprechend für Logikglieder mit mehr als zwei Eingängen.

Elektronische Logiksysteme, die nur auf der Basis von NOR- oder NAND-Bausteinen aufgebaut sind, sind sehr verbreitet. Denn die logischen Grundverknüpfungen UND, ODER und NICHT lassen sich ohne weiteres durch entsprechendes Zusammenschalten von NOR- oder NAND-Gliedern realisieren.

Weil diese Logikelemente so universell verwendbar sind, ist praktisch jede beliebige logische Schaltung ausschließlich mit NOR- oder nur mit NAND-Bausteinen ausführbar. Im nächsten Kapitel wird darauf eingegangen.

Übung 4/1

Betrachten Sie die folgende Lampenschaltung:



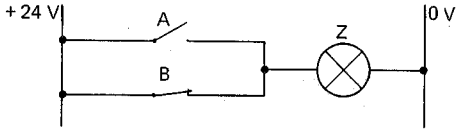
a) Welche Schaltungsteile dienen der Signaleingabe, welche der Signalausgabe?

b) Welche Aussagen bzw. welche technischen Sachverhalte entsprechen den logischen Werten L und 0 bei den Eingangsvariablen, welche bei der Ausgangsvariablen?

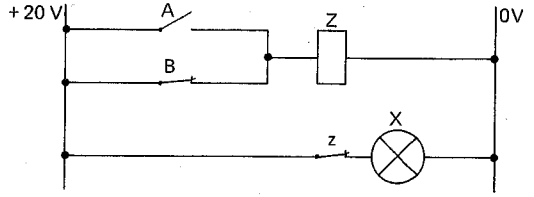
c) Wie kann man die Abhängigkeit der Variablen *Z* von *A*, *B* und *C* mit einem Verknüpfungssymbol bzw. Gattersymbol darstellen?

Übung 4/2

a) Man gebe Logikplan und Funktionsgleichung für folgende Schaltung an. Was bedeuten die logischen Werte 0 und L?

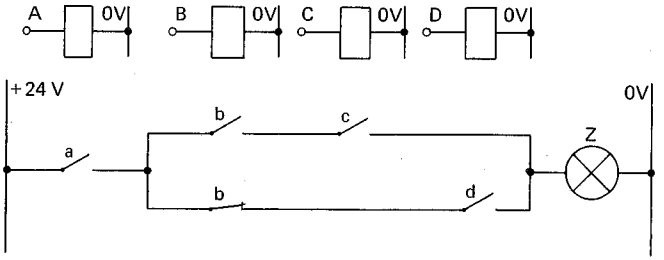


b) Geben Sie Logikplan und Funktionsgleichung für folgende Schaltung an, in der die Relaiswicklung Z den Kontakt z betätigt:



Übung 4/3

Betrachten Sie folgende Lampenschaltung:



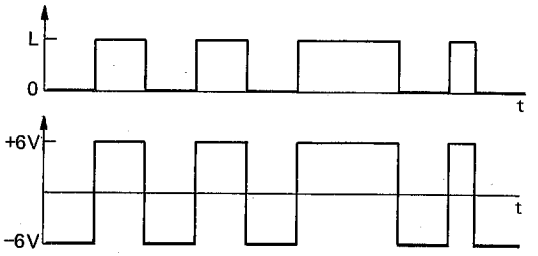
An den Eingängen zu den Relaiswicklungen können 0 V oder 24 V liegen. Wenn eine Relaiswicklung – benannt mit großen Buchstaben – Strom führt, werden sämtliche zugehörigen Kontakte – mit den entsprechenden kleinen Buchstaben bezeichnet – betätigt. Führt etwa die Wicklung B Strom, so schließt der obere Kontakt b (Schließer, Arbeitskontakt) und gleichzeitig öffnet der untere (Öffner, Ruhekontakt).

a) Beschreiben Sie die Eingangs- und Ausgangssignale.

b) Geben Sie für *Z* Funktionsgleichung und Logikplan an.

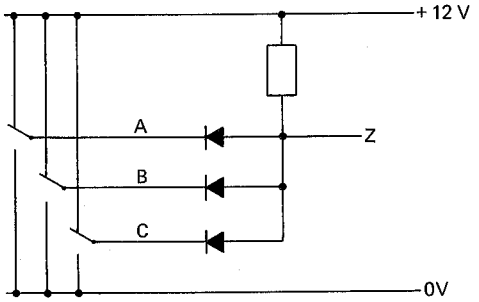
Übung 4/4

Durch welche Spannungswerte werden in folgendem Diagramm die logischen Zustände 0 bzw. L repräsentiert?



Übung 4/5

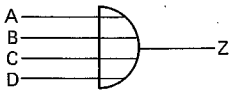
a) Durch welches Logiksymbol und welche Funktionsgleichung läßt sich folgende Schaltung ausdrücken, wenn man vereinbart, daß L ≙ + 12 V und 0 ≙ 0 V ist?



b) Die Eingangsschalter der Variablen *A* bis *C* können wahlweise auf 0 V oder auf 12 V geschaltet werden. Bei einer UND-Verknüpfung ergibt sich am Ausgang nur ein L, wenn sämtliche Eingänge mit L beaufschlagt sind. Wenn auch nur eine 0 am Eingang anliegt, so stellt sich auch am Ausgang eine 0 ein. Begründen Sie anhand der Durchlaßrichtung der Dioden, warum in der vorliegenden Schaltung der 0 entsprechende Spannungspegel von irgendeinem der Eingänge her sich zum Ausgang hin durchsetzt.

Übung 4/6

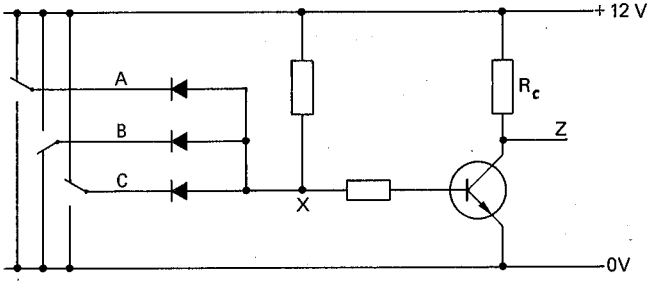
a) Zeichnen Sie mit Dioden und Widerständen eine elektronische Schaltung, die folgendes Logiksymbol realisiert. (Es sei wieder L = + 12 V, 0 = 0 V).



b) Welche der möglichen Eingangsspannungen – die obere von 12 V oder die untere von 0 V – setzt sich in der vorliegenden Schaltung auf den Ausgang hin durch? Wie hängt das mit der ODER-Funktion zusammen?

Übung 4/7

a) Durch welches Logiksymbol läßt sich die folgende Schaltung ausdrücken? (Bei dieser Frage interessiert die Aufschaltung der Eingangssignale nicht.)



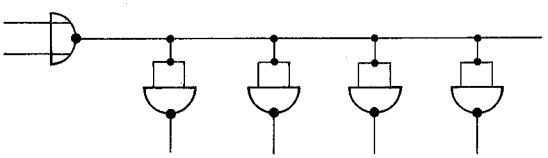
b) Geben Sie an, welche Spannungspegel bei dem in Übung a) angegebenen Schaltzustand der Eingänge an den Stellen A, B, C, X und Z liegen.

c) An welchem Eingang muß das Signal wechseln, damit auch am Schaltungsausgang Z ein Signalwechsel eintritt?

d) Wie wirken die Dioden und wie der Transistor an der Realisierung der logischen Funktion mit?

Übung 4/8

Wie viele Schaltgliedeingänge mit dem Eingangslastfaktor F_{in} = 1 dürfen noch zusätzlich an den Ausgang des NOR-Gliedes in folgendem Logikplan angeschlossen werden, wenn dessen Ausgangslastfaktor F_{out} = 10 ist, während alle eingezeichneten Eingänge den Lastfaktor 1 haben?



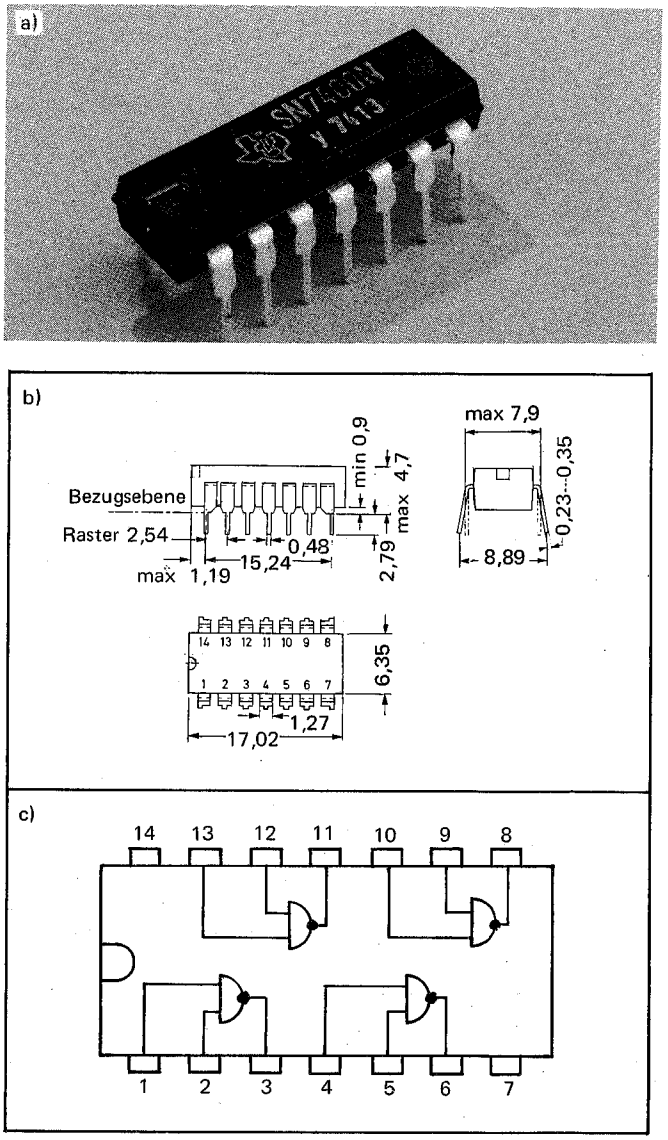


Bild 4/19. Baustein einer integrierten Schaltung (Typ FLH 101 bzw. SN 7400).

a) Dual-in-Line-Gehäuse.

b) Maßzeichnung des IC-Bausteins.

c) Anschlußplan, von oben gesehen (vier NAND-Gatter).

Integrierte Schaltungen

Weil für elektronische Digitalschaltungen meist sehr viele gleichartige logische Grundelemente benötigt werden, ist es naheliegend, die Fertigung zu rationalisieren und die Bauelemente für logische Funktionen in standardisierter Form auszuführen.

So hatte man bald damit begonnen, elektronische Digitalbausteine aus diskreten Bauelementen auf Schaltplatinen oder in noch gedrängterer Form in kunststoffvergossenen Blöcken in Großserien zu produzieren.

Die außerordentlich stürmische Entwicklung der modernen Halbleitertechnologie brachte dann die begrüßenswerte Möglichkeit, die elektronischen Schaltelemente der einzelnen Verknüpfungsglieder auf Halbleiterkristallen zusammengefaßt zu erzeugen.

Man spricht im Hinblick darauf von integrierten Schaltungen und verwendet dafür meist die Abkürzungen IS oder IC (letztere aus dem Englischen: Integrated Circuit).

Die Kristallplättchen, auch Chips genannt, die passive sowie aktive Elemente enthalten, haben nur eine Ausdehnung in der Größenordnung von einem bis zu wenigen Quadratmillimetern. Das bedeutet eine enorme Miniaturisierung der Schaltungsausführung, wobei die auf einem Halbleiterplättchen integrierte logische Schaltung selbst im Vergleich zu den Anschlüssen und dem schützenden Gehäuse noch den geringsten Platz beansprucht.

Als Beispiel ist in den Bildern 4/19a und 4/19b eine heute sehr verbreitete Gehäuseform – es gibt noch andere und auch kleinere – für integrierte Halbleiterschaltungen vorgestellt. Im Inneren eines solchen Gehäuses, dessen aus dem Englischen stammende Bezeichnung „Dual-in-Line" auf die zweireihige Anordnung der Anschlüsse hinweist, können sich viele einzelne logische Schaltelemente befinden. In Bild 4/19c ist die logische Innenschaltung und die Anschlußbelegung für einen der einfachsten IC-Bausteine gezeichnet.

Der Anwender findet die Anschlußpläne für IC's in den Datenbüchern der Herstellerfirmen neben Angaben über die Betriebsspannung, die Leistungsaufnahme, die Anschlußlastfaktoren, die Schaltgeschwindigkeiten u.a.

Die Miniaturisierung ist nur ein hervorstechendes Merkmal integrierter Schaltungstechnik, aber keineswegs immer das wichtigste. Denn mit der Schaltungsintegration ergeben sich als besondere Vorteile eine wesentliche Er-

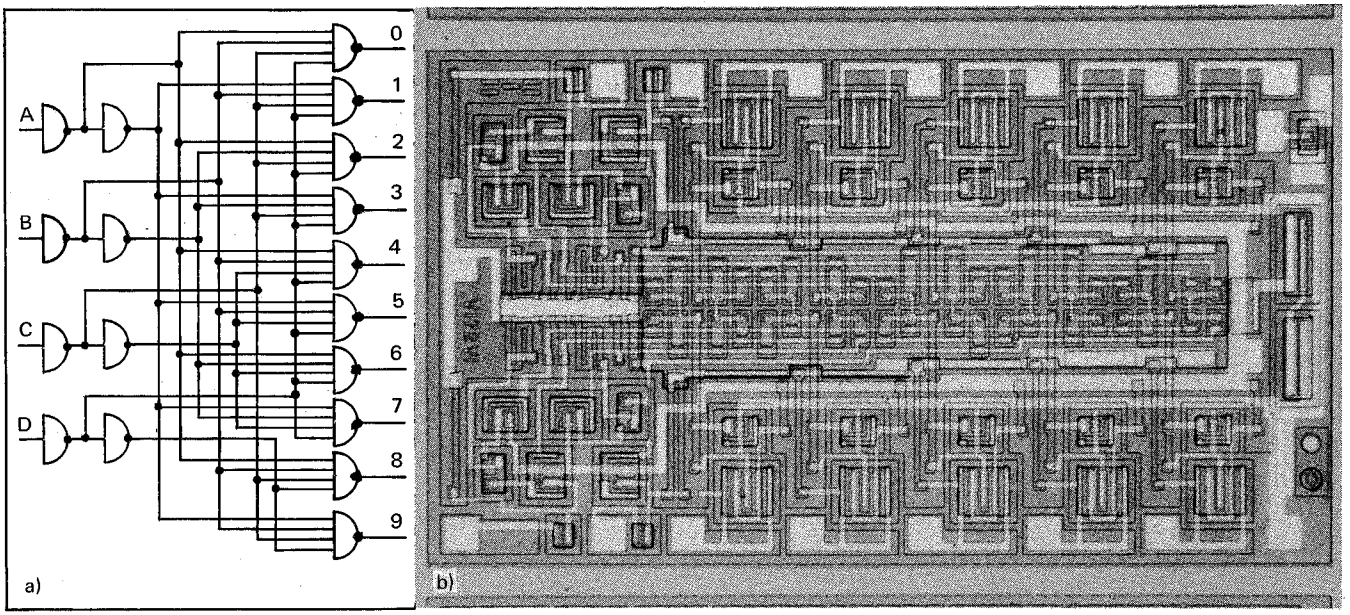


Bild 4/20. Beispiel für eine MSI-Schaltung.
a) Logik-Plan des Decodierers FCH 301. b) Foto des Kristalls (Originalabmessungen etwa 1,5 mm x 3,0 mm).

höhung der Betriebssicherheit und eine bemerkenswerte Kostensenkung – diese allerdings nur, wenn es um große Stückzahlen geht. Erst bei großen Stückzahlen rentieren sich die erheblichen Entwicklungskosten. Das gilt vor allem für hochintegrierte Schaltungen, mit denen nicht nur ein hoher Integrationsgrad in bezug auf die Zusammenfassung einzelner gleichartiger Schaltglieder, sondern hauptsächlich die Erfüllung komplexer Schaltfunktionen angestrebt werden. Komplette digitale Zähler, Decodierer und Register – auf deren Wirkungsweise in den folgenden Kapiteln noch eingegangen wird – werden zum Beispiel als hochintegrierte Schaltungen hergestellt. Integrierte Schaltungen, die einige 10 bis einige 100 logische Grundverknüpfungen UND, ODER, NICHT enthalten, werden als MSI-Schaltungen (aus dem Englischen: Medium Scale Integration) bezeichnet. Sie werden teils als Standardschaltungen für verschiedene Anwendungen angeboten, teils auch auf besonderen Kundenwunsch – bei Abnahme rentabler Stückzahlen – entwickelt.

In Bild 4/20a ist z. B. der Logikplan einer Decodierschaltung abgebildet. Es ist eine Standardschaltung, die zu den kleinen MSI-Schaltungen gerechnet werden kann. Bild 4/20b zeigt das Halbleiterkristall in starker Vergrößerung. Die vielen Einzelflächen der Transistoren, Dioden, Widerstände und Verbindungen bilden ein graphisch eindrucksvolles Muster.

Daß der Weg von der Formulierung der Aufgabenstellung für eine hochintegrierte elektronische Schaltung bis zur Produktionsreife ein sehr komplexer Prozeß ist, der die Zusammenarbeit von Spezialistenteams erfordert, kann hier nur angedeutet werden.

Zum Beispiel sind die Entwicklung der Logik, der Schaltungstechnik, der Masken für die Aufteilung und der technologischen Behandlung des Halbleiterkristalls Vorgänge, die nicht nacheinander oder einfach nebeneinander, sondern in ständiger Wechselbeziehung miteinander vollzogen werden müssen.

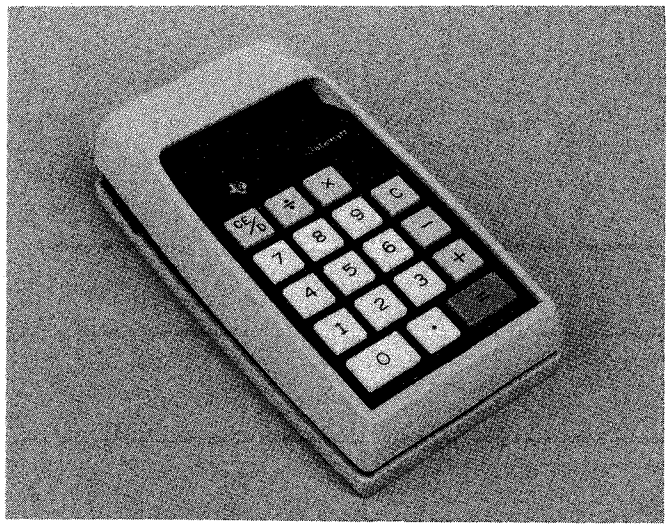
Unter anderem versucht man, mit statistischen Methoden und unter Einsatz von Computern eine optimale Auslegung der integrierten Schaltungen zu ermitteln.

Eine integrierte Schaltung kann übrigens bezüglich der Verwendung bestimmter Schaltelemente und bezüglich der Leitungsführung ganz anders aufgebaut sein als eine vergleichbare diskrete Schaltung, die die gleiche Funktion erfüllt. Während in diskreten Schaltungen Widerstände zu den billigsten und Dioden- und Transistor-Funktionseinheiten zu den teuersten Bauteilen zählen, ist es bei integrierten Schaltungen gerade umgekehrt. So kommt es, daß bei IC-Schaltungen die meisten Schaltfunktionen möglichst mit Dioden und Transistoren erfüllt werden, denn diese bedürfen weniger Platz als Widerstandsbahnen.

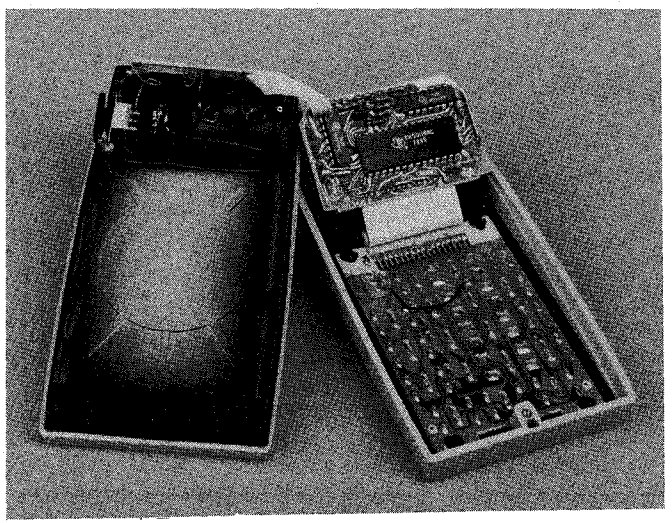
Die Entwickler integrierter Schaltungen sind bestrebt, mit immer höher werdendem Integrationsgrad immer komplexere Schaltaufgaben zu lösen.

Es werden heute schon IC-Bausteine hergestellt, die mehrere tausend Transistoren und andere Schaltelemente enthalten. Man nennt diese komplexen Schaltungen LSI-Schaltungen (Abkürzung der englischen Bezeichnung Large Scale Integration). So gibt es kleine handliche Taschenrechner zu erschwinglichen Preisen, in denen die meisten Schaltfunktionen von einem einzigen IC-Baustein erfüllt werden.

Der in Bild 4/21 a und b gezeigte Taschenrechner enthält einen solchen Baustein. Über 6000 Transistoren befinden sich im Kristall (Bild 4/21c), der nur etwa 6 mm Kantenlänge aufweist. Über 100 herkömmliche IC-Bausteine werden durch diese LSI-Schaltung ersetzt, ganz zu schweigen von den Ausmaßen, die der Rechner haben müßte, wenn er mit diskreten Bauelementen aufgebaut werden müßte.



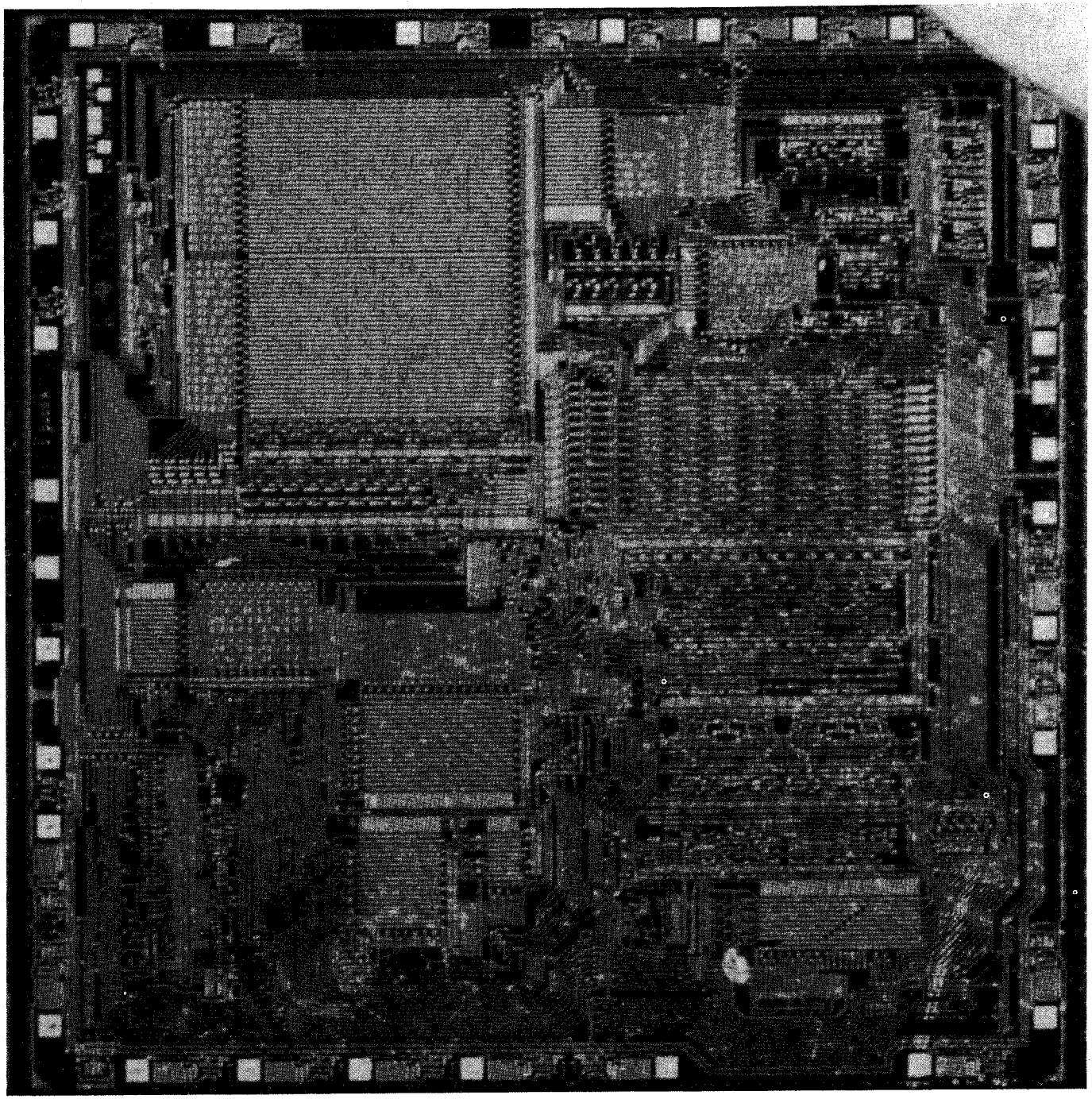
a) Außenansicht des Taschenrechners.

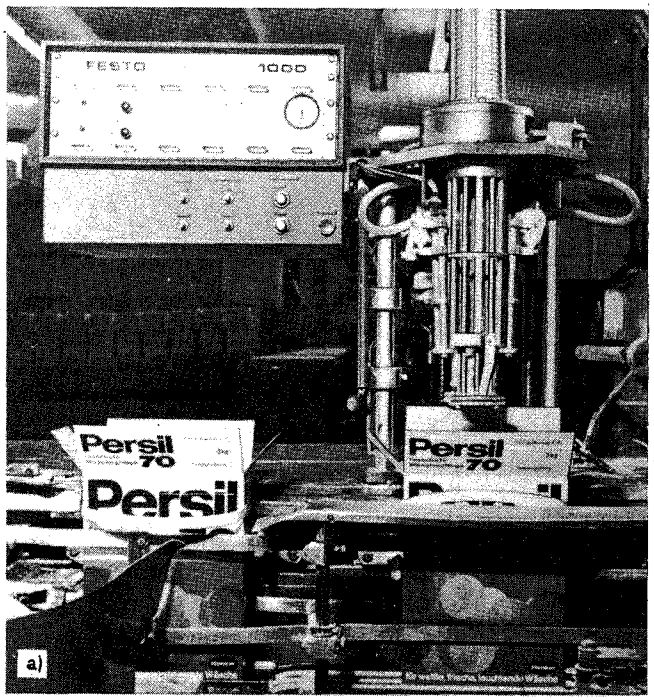


b) Innenansicht des Taschenrechners mit LSI-Baustein.

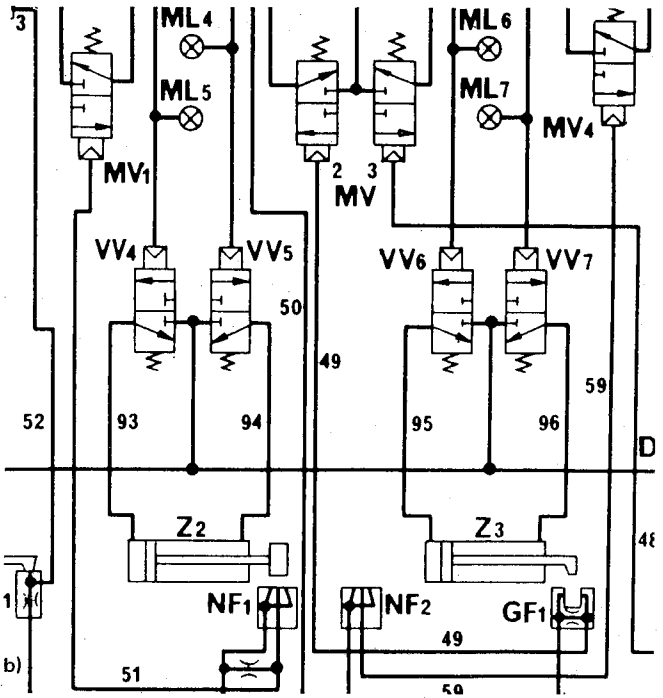
c) Vergrößerung vom Kristall des LSI-Bausteins ►

Bild 4/21. Taschenrechner mit hochintegriertem Schaltungsbaustein (Large Scale Integration).





a) Pneumatisch gesteuerte Abfüll- und Verpackungsanlage.



b) Ausschnitt aus einem pneumatischen Bauschaltplan.

Bild 4/22. Logische Entscheidung mit pneumatischen Elementen.

Logische Entscheidungen mit pneumatischen Elementen

Wo es bei industriellen Digitalsteuerungen auf Robustheit, leichte Überwachung und Wartung und Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen, Temperaturwechsel, Feuchtigkeit und Erschütterungen ankommt, wo leichte Fehlerbeseitigung, unkomplizierte Signalaufnahme und -wiedergabe, Explosionssicherheit und schnelle, kräftige und langhubige Betätigung der Stellglieder gefordert werden, haben sich pneumatische Steuerungen bewährt.

In Montagebetrieben, bei Verpackungsmaschinen, in Kühlanlagen, Walzwerken, Glashütten und Lebensmittelbetrieben, in der chemischen, der gaserzeugenden und Petroindustrie, an Textilmaschinen und Transportmitteln wie Bahnen, Schiffen und Flugzeugen, bei der Eisen- und Stahlgewinnung und im Bergbau sind pneumatische Steuerungen zu finden, Bild 4/22a und b.

Ihre Vorteile kommen zur Geltung, wenn es um Vorgänge wie das Greifen, Aufnehmen, Eingeben, Spannen, Entspannen, Positionieren, Lageprüfen, Weitergeben, Wenden, Zuteilen, Magazinieren und Antreiben geht.

Logische Verknüpfungsschaltungen, die die logischen Funktionen UND, ODER und NICHT erfüllen, lassen sich mit einfachen pneumatischen Wirkungsgliedern realisieren, wie die folgenden Beispiele zeigen sollen.

Zwei Ventile für das logische UND

In Bild 4/23 wird die logische Verknüpfung von Signalen nach der UND-Funktion mit sog. 3/2-Wege-Ventilen (sprich Drei-Zwei-Wegeventil) vorgeführt.

Ein paar Erläuterungen für den Nicht-Pneumatiker:
Aus den genormten Symbolen für die Ventile, die übrigens auch für die Hydraulik gelten, läßt sich ablesen, daß zwei Schaltstellungen möglich sind, denn jede Schaltstellung ist im Symbol durch ein Feld dargestellt.

Aus jedem Feld lassen sich die Zahl der Anschlüsse und die Leitungsführung innerhalb des Ventils ablesen. Das 3/2-Wege-Ventil besitzt also drei Anschlüsse und zwei Schaltstellungen. Der „Handgriff" am Symbol bedeutet Handbetätigung, die symbolische Feder selbsttätige Rückführung in Ruhestellung.

Üblicherweise werden Ventile in der Ruhestellung gezeichnet, wie das auch in Bild 4/23a geschehen ist. Dort liegen zwei Ventile in Reihe in einer Leitung. Beide sperren in der Ruhestellung, so daß keine Druckluft vom Versorgungsanschluß in einen Zylinder gelangen kann, in dem ein Kolben bewegt werden soll.

Würden die Ventile in die Arbeitsstellung gebracht, so würde dies für die Schaltung logisch gesehen L-Signal-Eingabe an beiden Schaltungseingängen bedeuten. Würde der Kolben im Zylinder betätigt, so bedeutete dies L-Signal am Schaltungsausgang. Die Schaltung in Bild 4/23b ist insofern nicht normgerecht gezeichnet, als das Ventil A hier zur besseren Veranschaulichung in Arbeitsstellung, also betätigt, dargestellt ist.

Das Ventil A läßt in Arbeitsstellung Luft durch. Da das Ventil B aber noch sperrt, wird der Kolben am Schaltungsausgang nicht betätigt. Erst wenn beide Ventile in Arbeitsstellung sind, Bild 4/23c, logisch gesehen also L-Signal erhalten, gelangt Druckluft in den Zylinder, der Kolben wird bewegt, er signalisiert L-Signal. Die Arbeitsweise eines 3/2-Wege-Ventils zeigt Bild 4/23d.

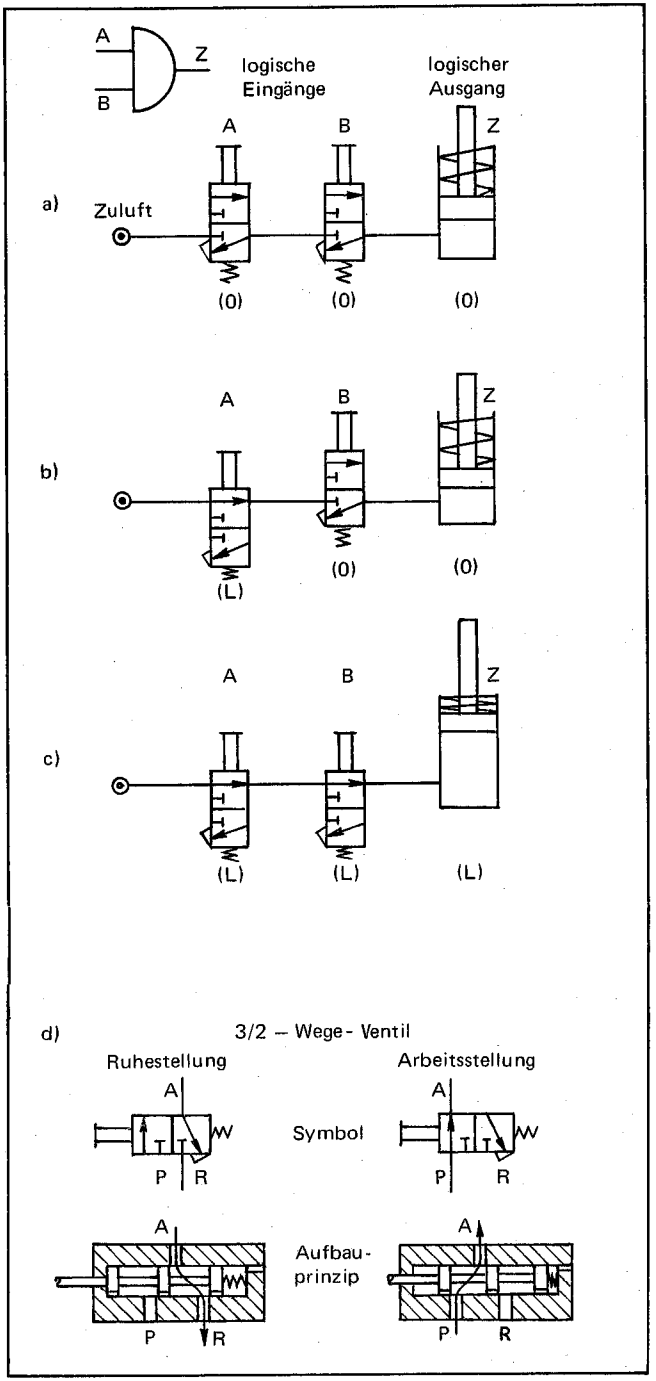
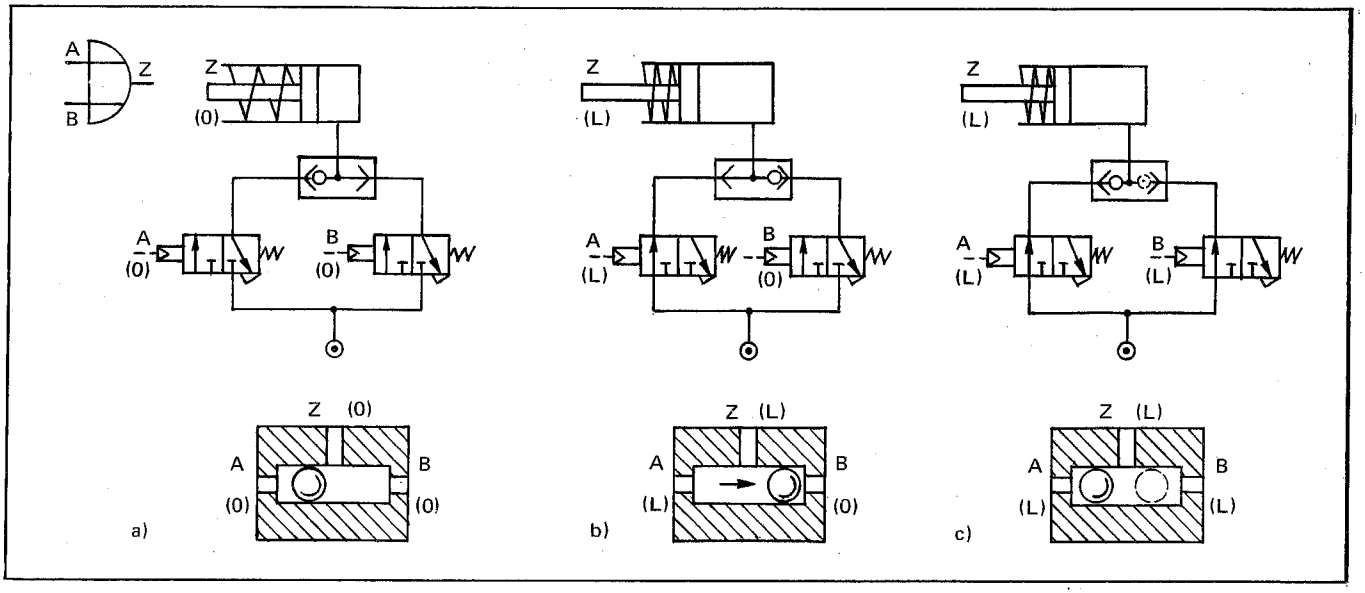


Bild 4/23. Beispiel für eine Realisierung der UND-Funktion mit pneumatischen Ventilen.
a) Beide Ventile in Ruhestellung: Kolben nicht betätigt.
b) Nur ein Ventil in Arbeitsstellung: Kolben nicht betätigt.
c) Beide Ventile in Arbeitsstellung: Kolben betätigt.
d) Zur Arbeitsweise eines 3/2-Wege-Ventils.



a) Keine Signale an den Eingängen (Ventile): kein Signal am Ausgang (Zylinder).

b) Signal am Eingang A: Signal am Ausgang Z.

c) Signal an beiden Eingängen: Signal am Ausgang Z.

Bild 4/24. Beispiel für eine Realisierung der logischen ODER-Funktion mit einem Kugel-Element (Doppel-Rückschlagventil).

Eine Kugel für die ODER-Funktion

Zur Realisierung der logischen ODER-Funktion können nicht einfach zwei 3/2-Wege-Ventile parallel geschaltet werden, wie das etwa mit zwei elektrischen Schaltern möglich wäre.

Denn wenn nur ein Ventil betätigt würde, könnte die durchgelassene Druckluft über die Abluftleitung des anderen Ventils entweichen, ohne den Kolben im Zylinder zu betätigen.

Es muß deshalb eine Sperre vorgesehen werden, die den falschen Weg für die Luft verschließt. In der Schaltung in Bild 4/24a dient ein Doppel-Rückschlagventil als eine in zwei Richtungen wirksam werdende Sperre.

Eine Kugel wird darin von der zugeführten Druckluft jeweils vor den entgegengesetzten Eingang gedrückt, der nicht mit Druckluft beaufschlagt (belegt) ist, und verschließt ihn.

In Bild 4/24b ist ein solcher Fall dargestellt: Nur das Ventil A ist betätigt und läßt die Speiseluft zum Doppel-Rückschlagventil. Dort wird die Kugel zum Eingang B gedrückt und versperrt diesen, so daß die Luft dem Zylinder, der den Signalausgang des ODER-Gliedes verkörpert, zugeführt wird.

Wird nicht Ventil A sondern Ventil B betätigt, so ergeben sich im Prinzip gleiche, aber entgegengesetzte Verhältnisse. Die Kugel im Doppel-Rückschlagventil verhindert dann ein Entweichen der Luft über Ventil A.

Wenn beide Ventile gleichzeitig betätigt sind, Bild 4/24c, gelangt Druckluft über beide Eingänge des Doppel-Rückschlagventils zum Zylinder. Die Kugel nimmt eine unbestimmte Stellung ein. Die hier gezeigte Darstellung des Doppel-Rückschlagventils ist stark schematisiert. Praktische Konstruktionen sind aufwendiger und können statt der Kugel auch Kolben oder ähnliche bewegliche Elemente enthalten.

Ein Ventil als NICHT-Stufe

Mit einem Ventil läßt sich auf einfache Weise die logische Signalumkehr erreichen, wenn es so verwendet wird, daß es in Ruhestellung durchlässig und in Arbeitsstellung gesperrt ist.

In Bild 4/25 ist ein 3/2-Wege-Ventil gezeichnet, das in dieser Weise verwendet wird. Die in diesem Beispiel angegebene Betätigungsart am Symbol besagt übrigens, daß das Ventil nicht von Hand, sondern durch einen Steuerluftdruck betätigt wird. Solange ein Steuerdruck ansteht, bleibt das Ventil in Arbeitsstellung; verschwindet der Steuerdruck, so kehrt es durch Federdruck selbsttätig in die Ruhestellung zurück.

Bei diesem pneumatisch betätigten Ventil gilt der Steuerungsanschluß A, wo dem Ventil der Steuerluftdruck zugeführt wird, als der Logikeingang A des Wirkungsgliedes.

Als Ausgang Z im logischen Sinne wird bei der in Bild 4/25 skizzierten pneumatischen Einrichtung der am Ventil angeschlossene Zylinder angesehen.

Wenn dem Steuerungsanschluß A Druckluft zugeführt wird, so bedeutet dies logisch L-Signal für den Wirkungsgliedeingang. 0-Signal wird gegeben, wenn der Steuerluftdruck zurückgenommen wird.

Der Logikausgang Z, der Stellzylinder also, führt L-Signal, wenn dort der Versorgungsluftdruck wirksam ist. Wird der Versorgungsluftdruck zurückgenommen, so erhält der Zylinder damit 0-Signal.

Bild 4/25a zeigt das Ventil in Ruhestellung. In diesem Fall ist der Steuerdruck am Eingang A nicht vorhanden und somit das Eingangssignal 0. Im Zylinder herrscht hingegen der Versorgungsdruck und das Ausgangssignal bei dieser pneumatischen Einrichtung ist somit L.

Bild 4/25b zeigt das Ventil in Arbeitsstellung. Hier ist das Eingangs-L-Signal vorhanden, denn der Steuerdruck liegt an. Das Ausgangssignal aber ist auf 0 gewechselt, denn die Versorgungsluftzufuhr ist gesperrt worden und der Zylinder wird entlüftet.

Die Schaltung erfüllt die logische NICHT-Funktion.

Bild 4/26 zeigt ein 3/2-Wege-Ventil.

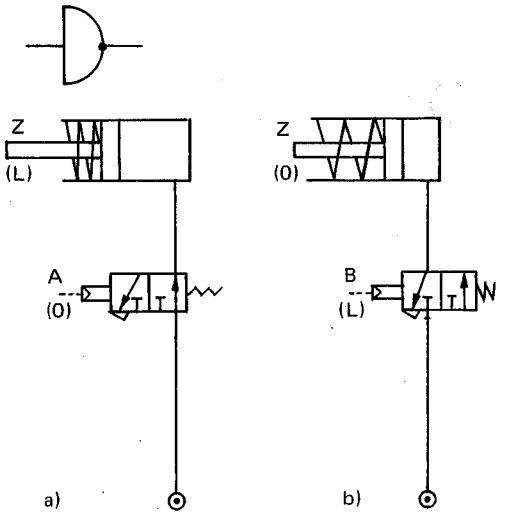


Bild 4/25. NICHT-Funktion, realisiert durch ein 3/2-Wege-Ventil mit Durchlaß in Ruhestellung.
a) Ruhestellung: kein Signal am Eingang A, Signal am Ausgang Z.
b) Arbeitsstellung: Signal am Eingang A, kein Signal am Ausgang Z.

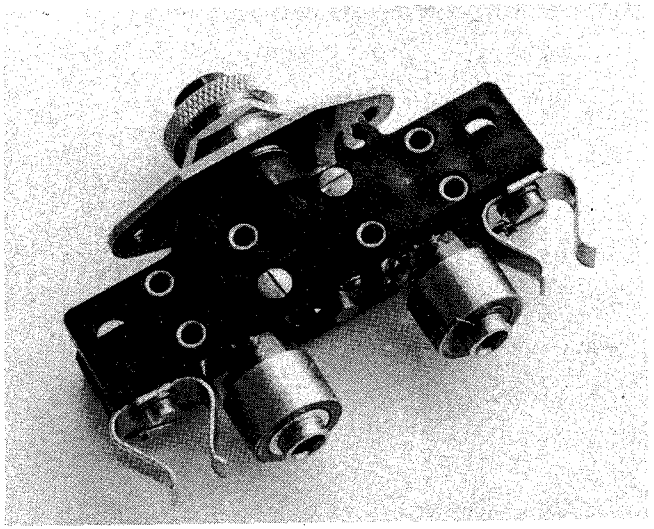


Bild 4/26. Ausführung eines 3/2-Wege-Ventils.

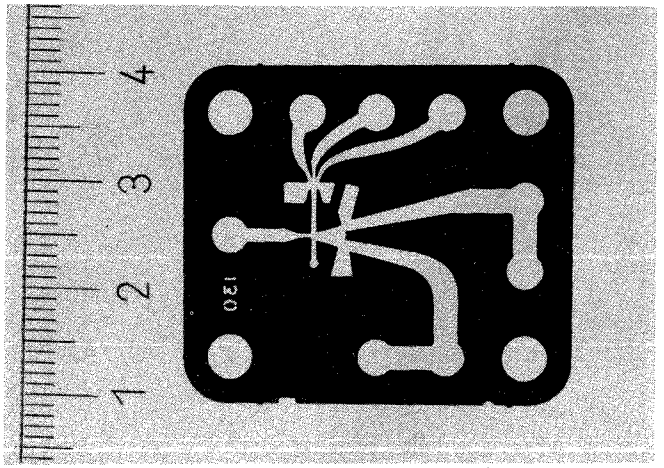


Bild 4/27. Fluidik-Element: Logische Entscheidungen werden durch die Steuerung eines strömenden Mediums (z. B. Luft) möglich.

FLUIDIK – Logik mit strömender Luft

Pneumatische Schaltglieder mit mechanisch bewegten Teilen sind hauptsächlich für Steuerungsaufgaben mit relativ großem Kraftbedarf und relativ geringer Schaltungsverzweigung geeignet. Geht es jedoch um die Ausführung komplexer Steuerschaltungen, wenn eine umfangreiche Signalverarbeitung erforderlich ist, so ist die Verwendung der verhältnismäßig großen Schaltglieder nicht günstig.

Man ist deshalb bestrebt, denjenigen Teil einer pneumatischen Steuerung, der vorwiegend der logischen Signalverknüpfung dienen soll, mit möglichst kleinen Bauelementen auszuführen. Seit gut einem Jahrzehnt werden in zunehmendem Maße pneumatische Logiksysteme mit Verknüpfungselementen ohne bewegliche Teile angeboten, bei denen die digitale Signalverarbeitung nur durch die Steuerung von strömender Luft in vielen feinen verzweigten Kanälen erfolgt.

Diese Art der logischen Signalverarbeitung ist unter der Bezeichnung Fluidik bekannt geworden. Das Kunstwort entstand aus den Begriffen FLUID (strömendes Medium) und LOGIK.

Bild 4/27 zeigt z. B. die Strömungskanäle in einem fluidischen Logik-Element, wie es in der Praxis verwendet wird. Die Kanäle sind hier in eine Kupferfolie eingestanzt, die beidseitig bis auf die Zu- und Abluftanschlüsse abgedeckt ist. Es handelt sich hier um ein NOR-Element, auf dessen Wirkungsweise noch eingegangen wird.

Fluidik-Elemente, deren Arbeitsweise auf strömungsdynamischen Gesetzen beruht, werden auch als dynamisch arbeitende Elemente bezeichnet. Im Gegensatz dazu nennt man pneumatische Elemente mit beweglichen mechanischen Teilen statisch arbeitende Elemente. Bei der Lösung mancher Steuerungsaufgaben bieten fluidische Steuerungen gegenüber elektrischen bzw. elektronischen Steuerungen sogar gewisse Vorteile, so daß diese Art der technischen Realisierung logischer Verknüpfungsschaltungen zumindest spezielle Anwendungsbereiche zu erobern beginnt.

So findet man fluidische Steuerungen zum Beispiel in der Reaktortechnik, wo Strahlungseinflüsse die Elektronik stören können, oder an Produktionseinrichtungen der Automobilindustrie, wo es auf dynamische Verstellbewegungen bei den angetriebenen pneumatischen Werkzeugen ankommt und Druckluft als Hilfsenergie stets zur Verfügung steht.

Auch bei extremen Arbeitsbedingungen im Hinblick auf Temperatur und Feuchtigkeit erweisen sich fluidische Steuerungen als außerordentlich robust, wie ihr Einsatz in der Nahrungsmittelindustrie, zum Beispiel in Fischverarbeitungsfabriken, beweist, wo die Kälte der Kühlanlagen einerseits und der Dampf und die Hitze der Kochkessel andererseits an die Steuerungen besondere Anforderungen stellen.

Und überall dort, wo sich pneumatische Anlagen seit jeher bewährt haben, zum Beispiel in der Fertigungstechnik, der Rohstoffindustrie, der Sprengstoffindustrie, im Transportwesen und bei Flugobjekten, werden fluidische Digitalsysteme in Zukunft wohl noch viel stärker Anwendung finden.

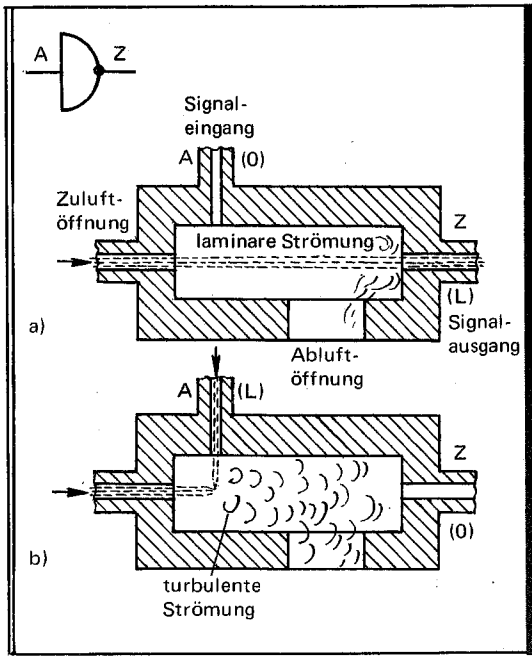


Bild 4/28. Zur Arbeitsweise eines Turbulenzverstärkers (Pneumistor).

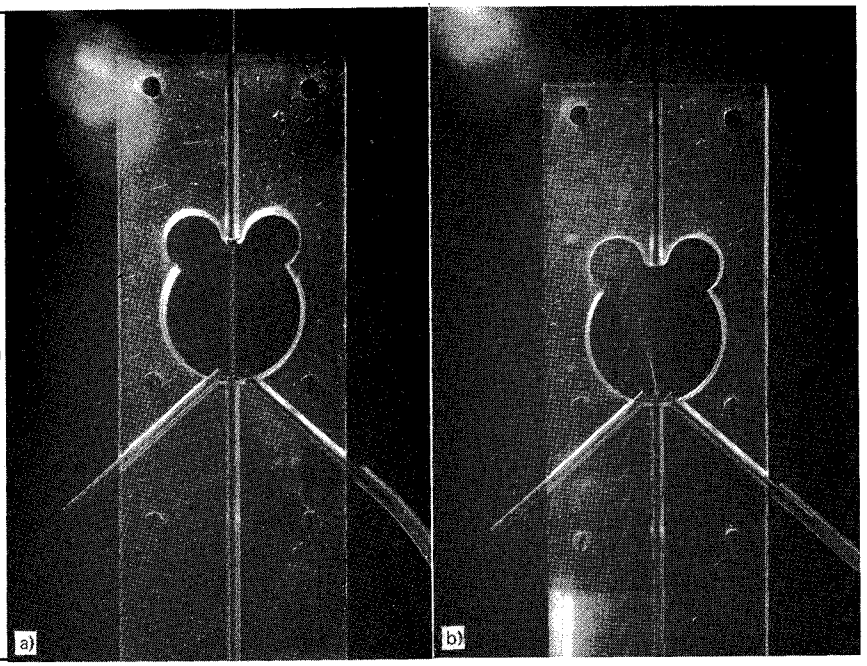


Bild 4/29. Modell eines Turbulenzverstärkers.
a) Ohne Steuerluft (mit laminarem Strahl). b) Mit Steuerluft (mit turbulentem Strahl). In diesem Modell wird zur besseren Erkennbarkeit des strömenden Mediums Rauch verwendet.

Turbulenzverstärker als NEGATION

Ein in seiner Wirkungsweise leicht verständliches fluidisches Logikelement ist der Turbulenzverstärker, in Anlehnung an die Wirkungsweise des Transistors auch Pneumistor genannt. Ein Turbulenzverstärker besteht prinzipiell aus einer Kammer mit einer Ein- und einer Austrittsöffnung für einen Luftstrahl, einer seitlichen Öffnung für einen Steuerstrahl und einer größeren seitlichen Entlüftungsöffnung, Bild 4/28a.

Wenn die Luft mit nicht zu großem Druck durch die Eintrittsöffnung in die Kammer gepreßt wird, entsteht ein gleichmäßiger wirbelfreier Strahl – man spricht von laminarer Strömung –, der ohne allzu großen Druckverlust durch die gegenüberliegende Öffnung austritt. Wird jedoch durch die seitliche Steueröffnung ein zusätzlicher Luftstrahl eingeführt, so stört dieser die laminare Strömung des Hauptstrahls, Bild 4/28b. Der Hauptstrahl wird verwirbelt – man spricht von turbulenter Strömung.

Die Verwirbelung des Luftstrahls hat eine ausgeprägte Druckminderung am Verstärkerausgang zur Folge, denn die turbulente Luft entweicht nun hauptsächlich durch die Entlüftungsöffnung. Wird der seitliche Steuerstrahl abgestellt, so wird der Hauptstrahl wieder laminar und tritt hauptsächlich durch den Verstärkerausgang aus, s. a. Bild 4/29.

Logisch gesehen bedeutet diese Situation L-Signal am Ausgang und 0-Signal am Steuereingang des Verstärkers. Die Speiseluftzufuhr wird für die logische Signalverarbeitung nicht in Betracht gezogen.

Die Bezeichnung „Verstärker" für dieses Wirkungsglied liegt darin begründet, daß ein kräftiger Hauptluftstrahl durch einen schwächeren Steuerluftstrahl beeinflußt werden kann; d. h. kleinere Druckänderungen am Steuereingang rufen größere Druckänderungen am Steuerausgang des Turbulenzverstärkers hervor.

Turbulenzverstärker können sehr klein ausgeführt werden. Im folgenden sind Werte für ein praktisch verwendetes

Turbulenzverstärkerelement als Beispiel angeführt: Der Durchmesser der Eintritts- und Austrittsdüse liegt bei 1 Millimeter, die Kammerlänge bei 15 Millimetern. Mit einem Steuerdruck von nur 2,5 Millibar kann der Ausgangsdruck von 10 Millibar auf einen Restdruck von 0,3 Millibar gemindert werden. Der Versorgungsdruck ist 15 Millibar. Die Anzahl der nachschaltbaren Schaltglieder, die sicher angesteuert werden können (der Ausgangslastfaktor also), kann bis zu 5 betragen. Der Luftverbrauch pro Stunde liegt für ein Element bei einigen 10 Litern. Die Schaltgeschwindigkeit beträgt etwa 40 Millisekunden.

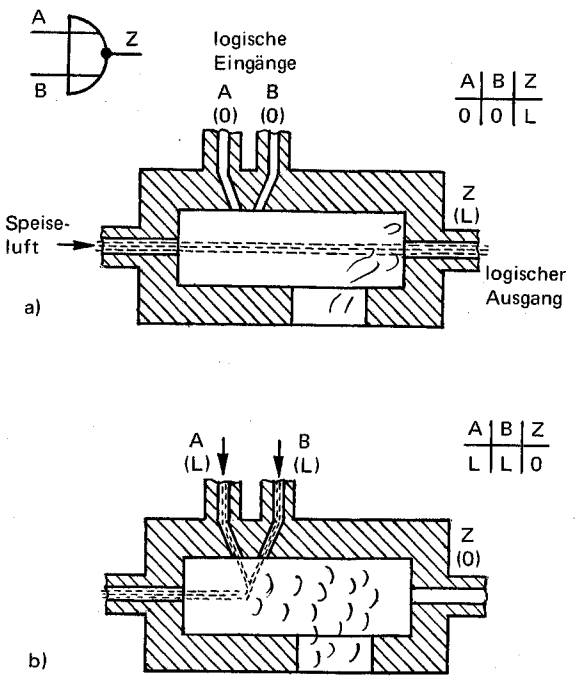


Bild 4/30. Turbulenzverstärker mit zwei Steuereingängen als NOR-Glied.
a) Keine L-Signale an den Eingängen A und B, L-Signal am Ausgang Z.
b) L-Signale an den Eingängen A und B, kein L-Signal am Ausgang Z.

Der Turbulenzverstärker als NOR-Element

Ein Turbulenzverstärker, der mit nur einem Steuereingang als logisches NICHT-Element arbeitet, kann auf einfache Weise in ein NOR-Glied verwandelt werden, wenn mehrere Steuereingänge vorgesehen werden, Bild 4/30. Der Hauptstrahl wird immer dann turbulent und der Verstärkerausgang führt dann 0-Signal, wenn durch einen oder alle Steuereingänge Steuerluft gepreßt wird, wenn dort also logisch L-Signale gegeben werden. Der Hauptstrahl strömt nur dann durch den Steuerausgang und signalisiert L-Signal, wenn an den Steuereingängen keine L-Signale anliegen.

Da sich ganz allgemein mit NOR-Elementen alle erforderlichen logischen Verknüpfungsschaltungen zusammenstellen lassen, ist es möglich, allein mit Turbulenzverstärkern komplexe digitale Steuerungen aufzubauen.

Bild 4/31 zeigt einen aus vielen Turbulenzverstärkern zusammengesetzten Steuerblock.

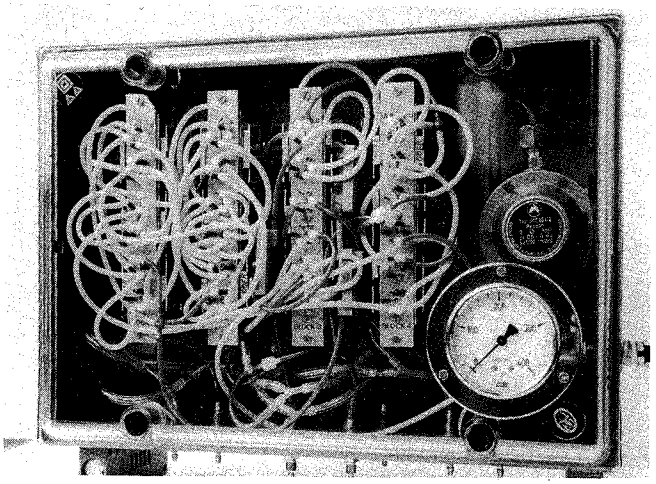


Bild 4/31. Steuerblock mit Turbulenzverstärkern.

Eine fluidische Realisierung der UND-Funktion

Wenn zwei gleichstarke Luftströme in spitzem Winkel zusammentreffen, vereinigen sie sich zu einem gemeinsamen Strahl mit neuer Richtung. Man nennt diese strömungsdynamische Erscheinung den Impulseffekt.

Dieser Effekt läßt sich ausnützen zur Realisierung eines fluidischen UND-Gliedes, wie in Bild 4/32 gezeigt wird: Zwei schräg geführte Kanäle kreuzen sich. Strömt nur durch einen Kanal Luft, so wird der Strahl nicht abgelenkt, die Luft tritt durch eine Entlüftungsöffnung am Ende des Kanals ins Freie, Bild 4/32a. Am Ausgang eines mittleren Kanals, der als Signalausgang Z dient, ist kein Luftstrom, also kein L-Signal, feststellbar.

Werden aber beide Eingänge des UND-Gliedes mit L-Signal belegt, indem sie beide mit Druckluft beaufschlagt werden, so treffen sich zwei Luftströme in einem Kreuzungspunkt. Beide Ströme lenken sich so ab, daß sie als ein Strahl in Richtung des Signalausgangs Z strömen, Bild 4/32b.

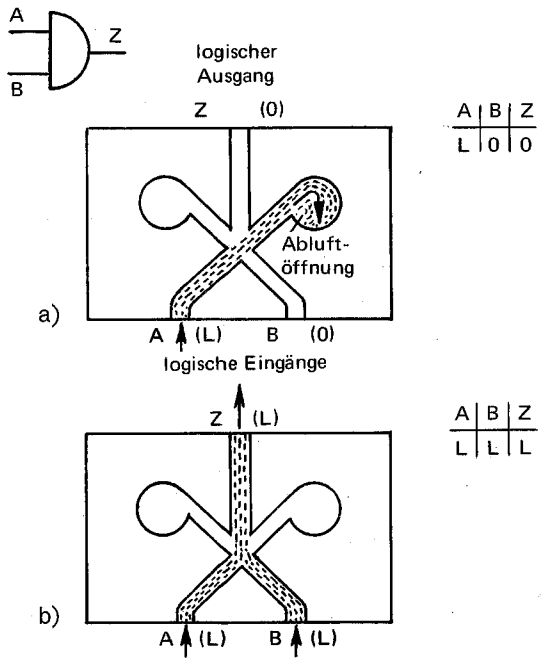


Bild 4/32. Ein Fluidik-Baustein als passives UND-Glied.

Nun erscheint L-Signal am Schaltungsausgang, s. a. Bild 4/33.

Deutsche Forschungs- und [illegible]
für Luft- und Raumfahrt [illegible]
Forschungszentrum Braunschweig
Zentralbibliothek
33 Braunschweig, Flughafen

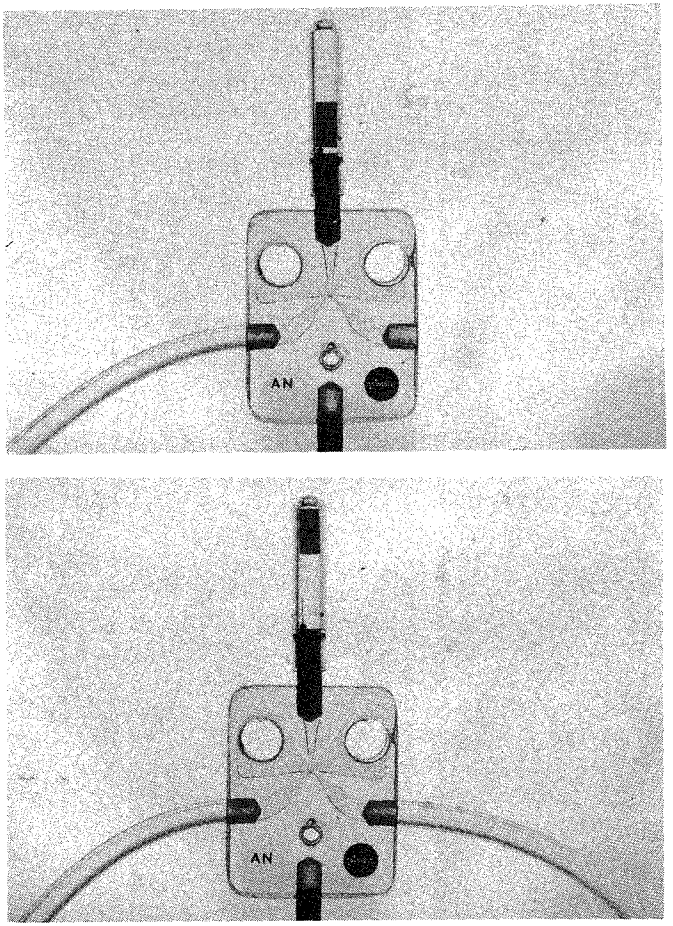


Bild 4/33 Modellbausteine eines fluidischen UND-Elements: Nur wenn beide Steuereingänge mit Druckluft beaufschlagt werden, zeigt der Indikator am Steuerausgang Druckluft an (schwarzes Kölbchen angehoben, unteres Bild).

Weil bei diesem fluidischen Element am Signalausgang kein höherer Druck als an den Signaleingängen auftritt, liegt keine Verstärkung vor. Es zählt deshalb zu den sog. passiven Elementen, im Gegensatz zum Turbulenzverstärker als aktivem Element.

Passive Fluidik-Elemente werden selten für sich allein zu Steuerschaltungen verbunden, weil ihr Ausgangslastfaktor, das Fan-Out, nur 1 sein kann. Sie dienen aber als Vorstufen für aktive Elemente.

Logik mit dem COANDA-Effekt

Neben Fluidik-Elementen, deren Wirkungsweise auf dem Turbulenzeffekt bzw. auf dem Impulseffekt beruht, gibt es noch eine dritte Kategorie, deren technischer Funktion ein anderer strömungsdynamischer Effekt zugrunde liegt – der COANDA-Effekt (*Henri Coanda,* rumänisch-britischer Ingenieur).

Der Coanda-Effekt tritt auf, wenn ein laminarer turbulenzfreier Strahl nahe einer Wand entlangströmt. Der Strahl legt sich an die Wand an! Wohl jeder hat es einmal beim Ausgießen einer Flüssigkeit beobachtet: der Flüssigkeitsstrahl bleibt unter bestimmten Bedingungen an der äußeren Gefäßwand „kleben"!

Ursache dafür ist ein Unterdruck, der zwischen dem strömenden Medium und der Wand entsteht.

In Bild 4/34 ist ein fluidisches NOR-Element, dessen Arbeitsweise auf dem Coanda-Effekt beruht, etwas schematisiert dargestellt. Für die logische Signalverarbeitung sind nur die Steuereingänge A und B und der Steuerausgang Z von Bedeutung. Strömungstechnisch notwendig sind zusätzlich der Anschluß für die Versorgungsluft und einige Verbindungsöffnungen zur Außenluft.

Wenn an den Steuereingängen A und B kein L-Signal in Form von Druckluft anliegt, strömt die Versorgungsluft – bedingt durch die konstruktive Auslegung der Kanäle – immer zum Signalausgang Z, der in diesem Fall also L-Signal führt, Bild 4/34a.

Wird aber an mindestens einen Steuereingang L-Signal angelegt, indem Steuerluft zugeführt wird, so wird der Hauptstrahl in den Abluftkanal gelenkt, Bild 4/34b.

Am Steuerausgang Z sinkt der Luftdruck, das L-Signal verschwindet dort. Sobald das Steuersignal zurückgenommen wird, strömt der Hauptstrahl wieder in die ursprüngliche Richtung.

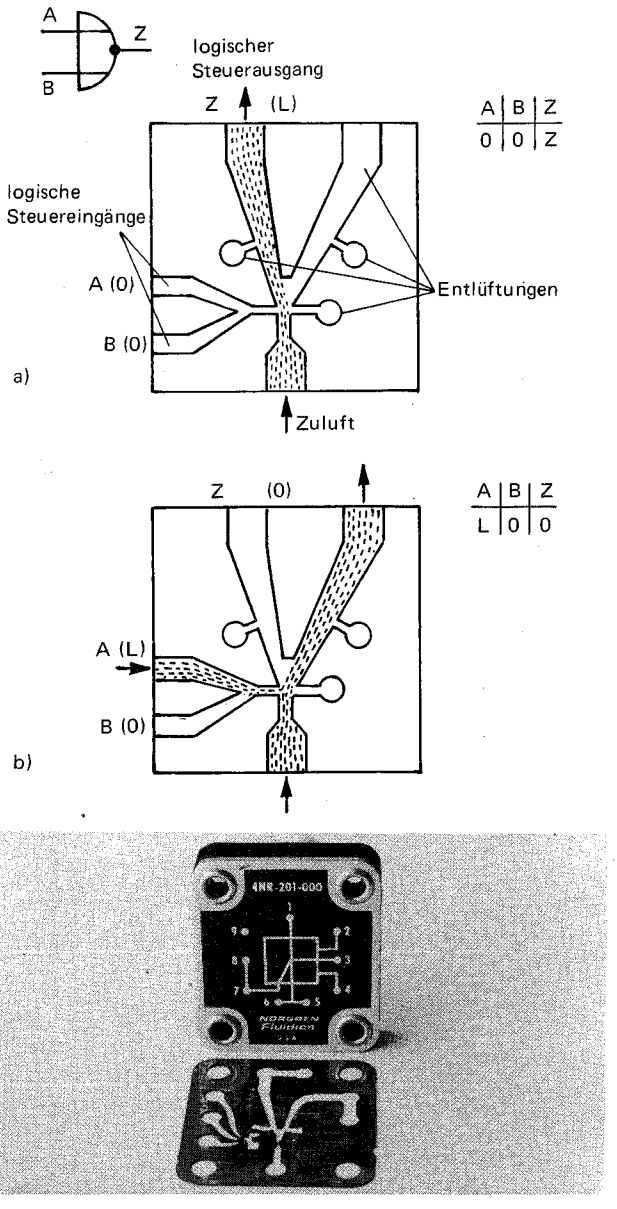


Bild 4/34. Wandstrahlelement (Coanda-Element) als NOR-Glied mit zwei Eingängen.

a) Steuereingänge ohne Druckluft, Steuerausgang Z führt Druckluft.

b) Ein Steuereingang erhält Druckluft, Steuerausgang Z ohne Druckluft.

c) Ausführung eines Wandstrahlelements; vor dem Gehäuse die herausgenommene Folie mit den Strömungskanälen.

Das NOR-Element läßt sich ohne weiteres als ODER-Element verwenden, wenn der zunächst nur als Abluftausgang betrachtete Kanal nun auch als Signalausgang verwendet wird. Er führt dann L-Signal, wenn mindestens an einem Steuereingang L-Signal anliegt.

Bild 4/34c zeigt die Außenansicht eines Fluidikelements und davor eine mit Kanälen versehene Kupferfolie, die im Baustein enthalten ist.

Einige Daten dazu: Die Kantenlänge des Bausteins ist etwa 30 mm. Der Versorgungsdruck liegt zwischen 0,5 bar und 1 bar (bzw. atü), der Steuerluftdruck kann 50 % bis 80 % niedriger sein. Das Fan-Out ist 2. Der Luftverbrauch liegt unter 100 Liter pro Stunde.

Bild 4/35 zeigt das Steueraggregat einer fluidischen Rohrpostanlage, mit der Materialproben in den Strahlungsraum eines Reaktors transportiert werden können. Bei diesem Anwendungsbeispiel kommt der Vorzug der völligen Unempfindlichkeit der Fluidik gegenüber radioaktiver Strahlung besonders zur Geltung! Das Schaltbild einer Rohrpostanlage ist in Bild 4/36 dargestellt.

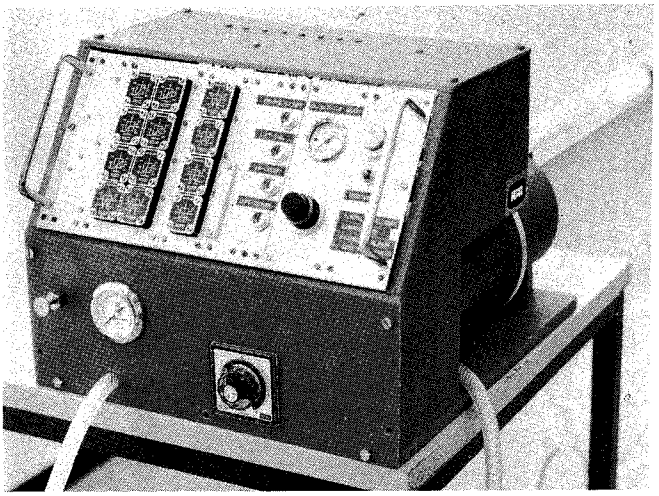


Bild 4/35. Steuerpult einer fluidischen Rohrpost-Anlage zum Transport von Materialproben in den Strahlungsraum eines Reaktors.

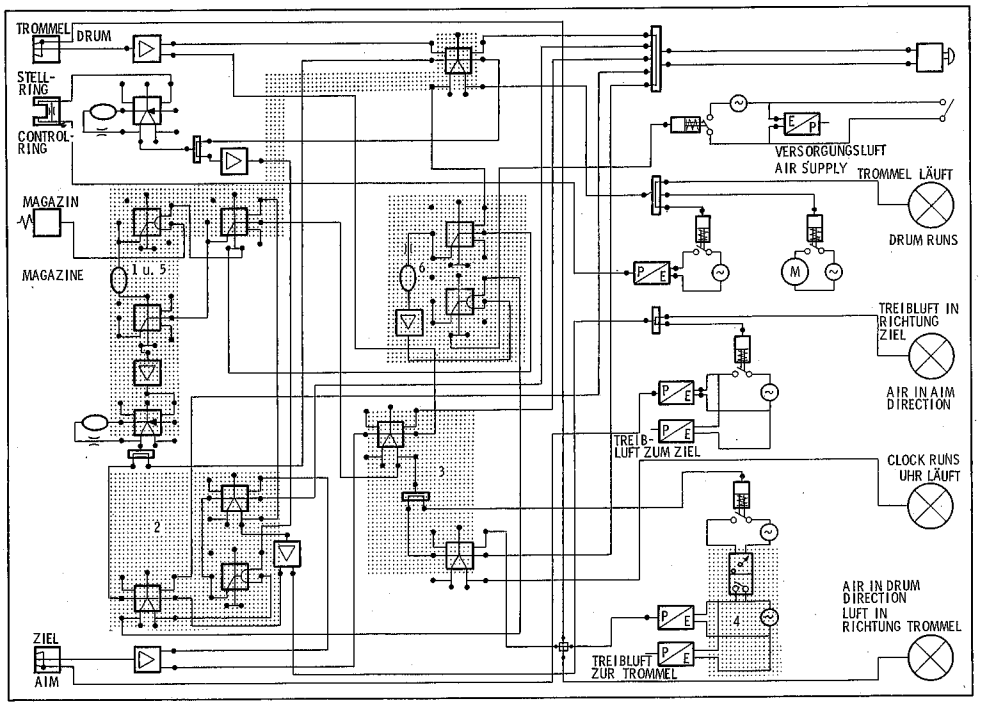
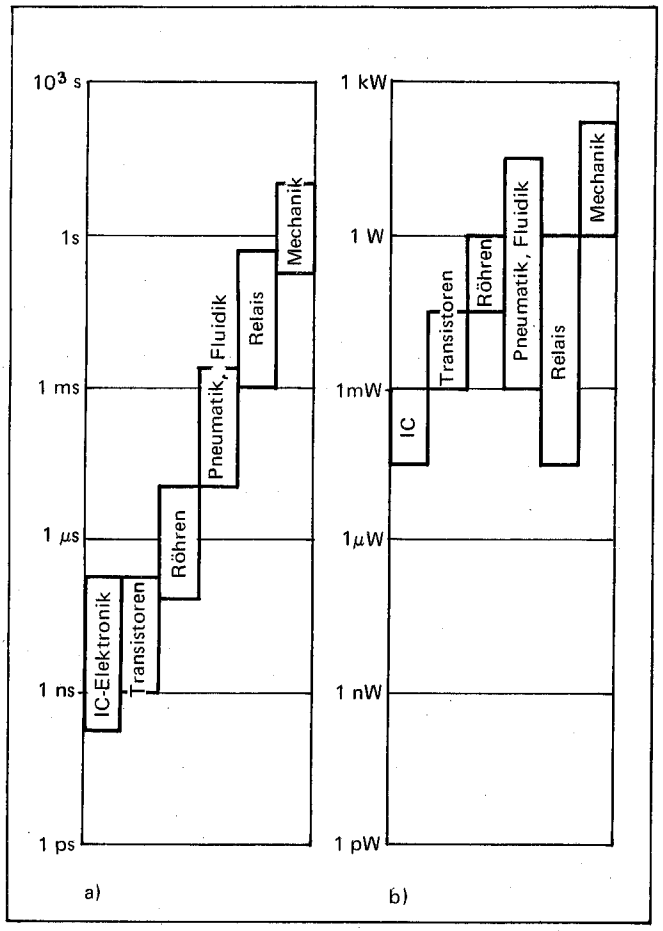


Bild 4/36.
Wirkschaltplan der Fluidik-Rohrpost.



a) Schaltzeiten. b) Leistungsbedarf.

Bild 4/37. Wesentlichste Wertbereiche der Elemente in den verschiedenen Logiksystemen.

Koexistenz der Systeme

Da jedes der verschiedenen technischen Digitalsysteme seine Vorzüge und Nachteile hat, ist es unmöglich, ein generelles Urteil über deren Verwendbarkeit abzugeben.

Es kann vielmehr immer nur für eine konkrete Aufgabe entschieden werden, welches technische System zur digitalen Signalverarbeitung jeweils das geeignetste ist.

Bei der Auswahl spielen vielerlei Kriterien eine Rolle: Schnelligkeit, Zuverlässigkeit und Störsicherheit, Relation von Aufwand und Zweckerfüllung, Standardisierung, Anpassung an vorhandene Systeme, Umfang der Aufgabenstellung, Preiswürdigkeit und schließlich auch die Qualifikation des vorhandenen Wartungspersonals gehören zu den entscheidenden Faktoren.

Die Übersichten in Bild 4/37 veranschaulichen beispielsweise die Faktoren „Schaltzeit" und „Leistungsverbrauch"; hier wird deutlich, wie differenziert diese Werte bei den einzelnen Systemen sind. Es wäre z. B. absurd, einen Großrechner nicht elektronisch, sondern fluidisch aufbauen zu wollen, denn aus physikalischen Gründen kann mit fluidischen Mitteln weder die Schnelligkeit noch die Integration der Elektronik erreicht werden. Andererseits wäre es unwirtschaftlich, eine einfache pneumatische Steuerung einer Flaschenabfüllanlage unbedingt durch eine elektronische Ausführung zu ersetzen.

Auch elektromechanische Steuerungen werden bei der heute erreichten Ausgereiftheit der Bauelemente dort ihren Platz behaupten, wo es um Robustheit, Unkompliziertheit und Unempfindlichkeit geht und schnelle Schaltwechsel nicht nötig sind.

Es ist abzusehen, daß auch bei der künftigen Weiterentwicklung der Digitaltechnik verschiedene technische Realisierungen der Logikschaltungen nebeneinander bestehen und sich ergänzen werden.

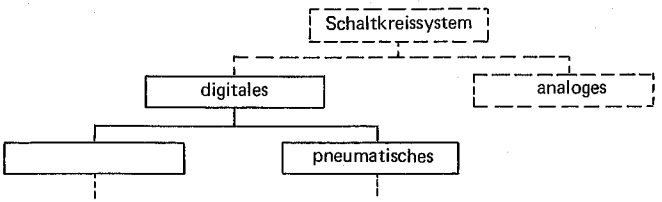
Es geht in den Verständnisübungen 4/9 bis 4/11 nicht hauptsächlich darum, exakt die im Lösungsteil gegebenen Antworten zu finden, sondern darum, über Unterschiede und Eigenschaften verschiedener Schaltkreissysteme ein wenig nachzudenken.

Übung 4/9 **Verständnisübung**

Gegenseitige Abgrenzung von Schaltkreissystemen.

a) Man kann das Wort „Schaltkreissystem" durch folgende Zusätze ergänzen: digital, elektrisch, elektromechanisch, elektronisch, fluidisch, hochintegriert (LSI), integriert, mit diskreten Bau-

elementen, pneumatisch, pneumatisch-statisch, von mittlerem Integrationsgrad (MSI). Hier ist z. B. „pneumatisch-statisch" ein Sonderfall bzw. Unterbegriff von „pneumatisch". Versuchen Sie, die durch die Zusätze spezifizierten Schaltkreissysteme durch Ergänzung des folgenden Schemas zu ordnen:



b) In der Lösung von a) sind die digitalen Schaltkreissysteme von null bis zehn numeriert. Charakterisieren Sie in der Reihenfolge dieser Numerierung jedes der Systeme durch höchstens fünf Stichworte und grenzen Sie es insbesondere gegenüber seinem Nachbarbegriff ab.

Übung 4/10 ? Verständnisübung

Eigenschaften von Schaltkreissystemen.

Für welche der in Übung 4/9 a) spezifizierten Schaltkreissysteme trifft jeweils die folgende Aussage in besonderem Maße zu, für welche nicht?

a) Störungen des Schaltkreissystems durch elektromagnetische Wellen, Einschaltstöße großer elektrischer Maschinen oder radioaktive Strahlung sind nicht zu befürchten.

b) Die zum Aufbau einer Schaltung verfügbaren und konstruktiv kombinierbaren Bausteine enthalten nur eine oder ganz wenige logische Funktionen.

c) Die Alterung des Systems hängt nicht ab von mechanischer Abnutzung durch Reibungsvorgänge oder vom Funkenabbrand von Kontakten.

d) Das Schaltkreissystem hat die höchste Packungsdichte, d. h. den kleinsten Raumbedarf je logischer Funktion und die höchste Schaltgeschwindigkeit.

e) Infolge einer weitgehend automatisierten Fließbandfertigung der Bauelemente hat das System im Vergleich zu anderen elektronischen Systemen ein sehr günstiges Preis-Leistungsverhältnis.

f) Eingangs- und Ausgangsströme der einzelnen Bauelemente sind entkoppelt. Der Eingangsstrom ändert sich nicht, wenn die am Ausgang aufgeschaltete Last wechselt.

Übung 4/11 ? Verständnisübung

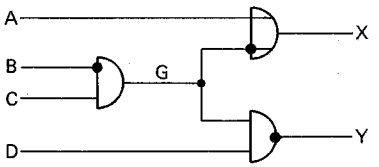
Kenngrößen von Schaltkreissystemen.

Nennen Sie einige Kenngrößen von Schaltkreissystemen.

Übung 4/12 ? Fallstudie

Fallstudie: Schaltkreisaufbau in der DTL- und Relaistechnik.

a) Realisieren Sie den folgenden Logikplan mittels Dioden und Transistoren (DTL, vgl. Übung 4/5 bis 4/7).



b) In der Lösung von a) kommen zusätzlich zu *A*, *B*, *C*, *D* sowie *X* und *Y* noch die logischen Variablen *F*, *G*, *H* und *J* vor. Geben Sie für *F*, *G*, *H*, *J*, *X* und *Y* möglichst einfache Formelausdrücke an, z. B. $X = A \vee H$.

c) Es sei A = L, $B = 0$, C = L und $D = 0$. Berechnen Sie die logischen Werte aller übrigen Variablen.

d) In der Schaltung der Lösung von a) werden an die Eingänge folgende Signalpegel gelegt:
A : + 12 V; B : 0 V; C : + 12 V; D : 0 V.
Welche Spannungspegel stellen sich ein an den Stellen *F*, *G*, *H*, *X*, *J* und *Y*? (Nehmen Sie das Bild aus Lösung 4/12 a) zu Hilfe, und tragen Sie die Werte ein.) Begründen Sie das. Die Lösung in Kap. 14 sollten Sie schrittweise einsehen.

e) Realisieren Sie den Logikplan aus Übung 4/12 a) mittels Relais (vgl. Übung 4/2 und 4/3).

f) In der Lösung von Übung 4/12 e) werden die Relaiswicklungen A und C mit Strom beschickt, B und D bleiben stromlos. Was geschieht bei:
Kontakt b, Kontakt c, Relaiswicklung G, Öffner und Schließer g, Kontakt a, Ausgang X, Kontakt d, Relaiswicklung J, Kontakt j, Ausgang Y?
Auch bei dieser Übung sollten Sie die Lösung schrittweise einsehen.

g) Vergleichen Sie die Lösungen der drei Übungen 4/12 c) bis 4/12 f). Was entspricht sich?

5. NOR- und NAND-Glieder: universelle Digitalbausteine

Im Laufe der Entwicklungsgeschichte der elektronisch realisierten Logikglieder ging der Trend immer mehr zu den NOR- und NAND-Bausteinen hin. Dies ist u. a. auf die bei größeren Logiksystemen notwendige Verstärkung der binären Signale zurückzuführen, die nur durch den Einsatz von Transistoren erzielt werden kann. In diesem Zusammenhang sei hier auch auf Kapitel 4 verwiesen.

Diese Entwicklung findet ihren Niederschlag in den Produktionsprogrammen der führenden Elektronikfirmen. Blättert man heutzutage in den einschlägigen Firmenlisten, so ist man über die Vielzahl der angebotenen NOR- und besonders der NAND-Bausteintypen überrascht, Bild 5/1 bis 5/6. Der Eindruck von der Bedeutung dieser verbreiteten Logikglieder wird noch verstärkt, wenn man mit der Vielfalt der in NOR- und NAND-Technik realisierten digitalelektronischen Schaltungen in Berührung kommt.

Im Grunde muß uns dieser Markttrend in Erstaunen versetzen, wenn man bedenkt, daß die durch die NOR- und NAND-Gatter erzielten logischen Verknüpfungen dem menschlichen Verstand weit weniger zugänglich sind, als etwa die der UND-, ODER- und NICHT-Glieder.

Für das heutige breite industrielle Angebot an NOR- und NAND-Bausteinen gibt es eine besondere, wesentliche Berechtigung:

Alle drei bekannten logischen Grundfunktionen UND, ODER und NICHT (und somit alle in der Praxis auftretenden Logikschaltungen) lassen sich mit jedem dieser beiden Logiktypen realisieren. Darüber hinaus können mit Hilfe von NOR- und NAND-Bausteinen auch weitere Bauelemente in der Digitaltechnik, wie z. B. binäre Speicher, aufgebaut werden.

Dieses Kapitel soll einen Einblick in die schaltungstechnische Anwendung von NOR- und NAND-Gliedern vermitteln, so daß Sie logische Probleme in NOR- bzw. NAND-Technik lösen können.

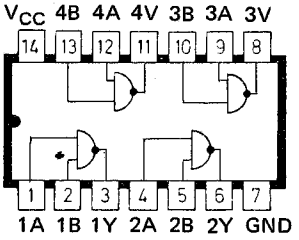


Bild 5/1. SN 7400N, vierfacher NAND-Baustein mit je 2 Eingängen.

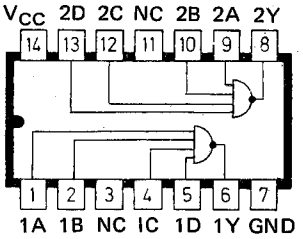


Bild 5/2. SN 7420N, zweifacher NAND-Baustein mit je 4 Eingängen.

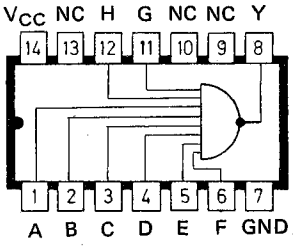


Bild 5/3. SN 7430N, NAND-Baustein mit 8 Eingängen.

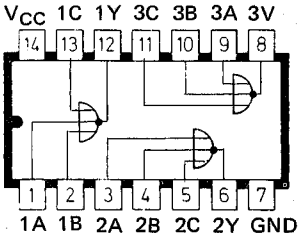


Bild 5/4. SN 7427N, dreifacher NOR-Baustein mit je 3 Eingängen.

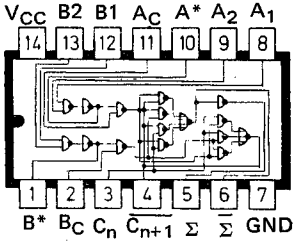


Bild 5/5. SN 7480N, 1-Bit-Volladdierer.
Dieser Volladdierer-Baustein enthält im wesentlichen NOR- und NAND-Glieder.

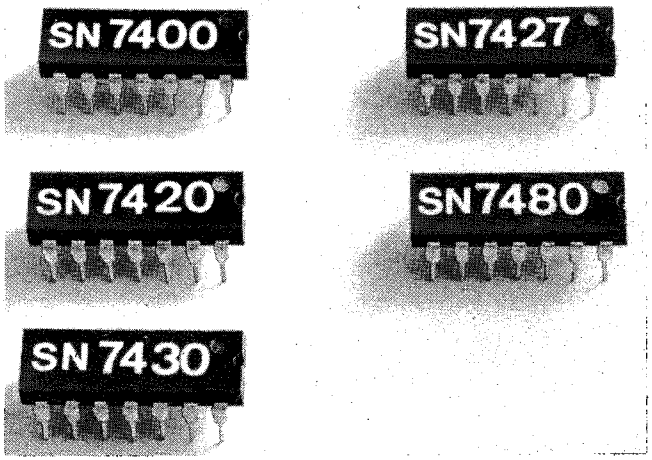
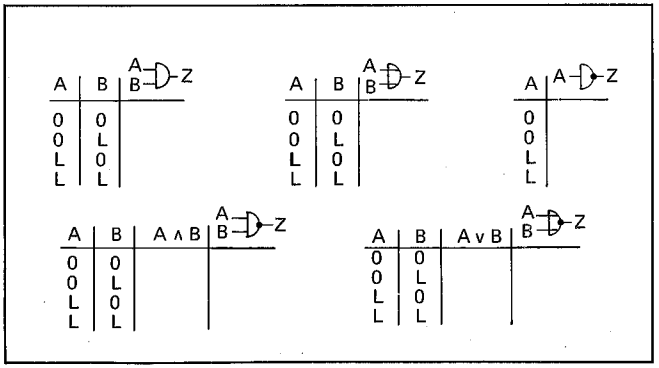


Bild 5/6. Digital-Bausteine in integrierter Technik.
Die einzelnen Bausteine unterscheiden sich trotz erheblich unterschiedlicher Funktionen äußerlich nur durch die Typenbezeichnungen. Vergleichen Sie die Kenn-Nummern mit Bild 5/1 bis 5/5.

Tabelle 5/1. Logikglieder im Vergleich.



Die Signalverknüpfungen der Logikglieder im Vergleich

In Tabelle 5/1 sind die gebräuchlichen und Ihnen bekannten Logikglieder tabellarisch zusammengestellt.

Bevor Sie sich mit den folgenden Abschnitten dieses Kapitels befassen, sollten Sie sich nochmals mit den Signalverknüpfungen der einzelnen Bauglieder auseinandersetzen.

Übung 5/1 ?

Vervollständigen Sie die Funktionstabellen in Tabelle 5/1. Beachten Sie hierbei besonders, daß man sich das NAND-Glied als Schaltungsfolge eines UND-Gliedes und eines NICHT-Gliedes, das NOR-Glied als Schaltungsfolge eines ODER-Gliedes und eines NICHT-Gliedes vorstellen kann, vgl. a. Bild 5/7.

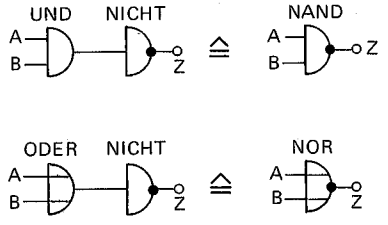


Bild 5/7. NAND- bzw. NOR-Funktionen kombiniert aus UND/NICHT bzw. ODER/NICHT.

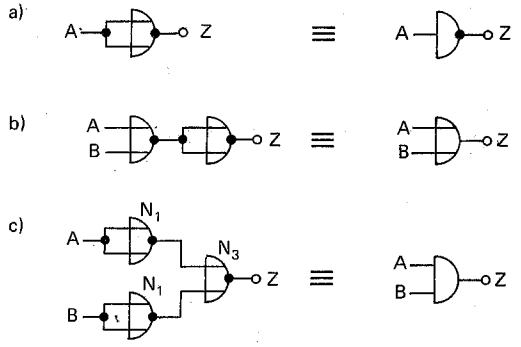


Bild 5/8. UND/ODER/NICHT aus NOR.
a) NICHT
b) ODER
c) UND

Tabelle 5/2. UND aus NOR.

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{A} \vee \bar{B}$	$Z = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$	$Z = A \wedge B$
0	0	L	L	L	0	0
0	L	L	0	L	0	0
L	0	0	L	L	0	0
L	L	0	0	0	L	L

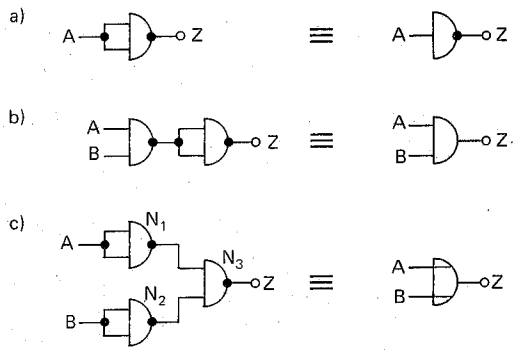


Bild 5/9. UND/ODER/NICHT aus NAND.
a) NICHT
b) UND
c) ODER

UND, ODER, NICHT aus NOR

NICHT aus NOR, Bild 5/8a.

Die Eingänge des NOR-Gliedes werden parallel vom Eingangssignal A angesteuert. Die NOR-Stufe negiert A.

$Z = \bar{A}$.

ODER aus NOR, Bild 5/8b.

Die durch die erste NOR-Stufe bewirkte Negation ist im Sinne der ODER-Funktion nicht zulässig. Sie wird durch die nachfolgende, als Negator geschaltete zweite NOR-Stufe aufgehoben,

$Z = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}} = A \vee B$.

Die oben angegebene doppelte Negation entfällt zwar im logischen Sinne, da die beiden Negatoren sich in ihrer Wirkung aufheben und somit eine Bejahung darstellen, sie ist aber wegen der beiden vorliegenden NOR-Glieder schaltungstechnisch real vorhanden.

UND aus NOR, Bild 5/8c.

Die Eingangsvariablen A und B werden dem NOR-Gatter N_3 über je eine als Negator geschaltete NOR-Stufe (N_1, N_2) zugeleitet. Die gesamte Schaltungsanordnung erzielt UND-Verhalten:

$Z = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}} = A \wedge B$.

Der Nachweis der Richtigkeit der Darstellung wird in Tabelle 5/2 erbracht. In den ersten beiden Spalten sind die Variablen A und B, in den folgenden beiden Spalten ihre Negationen $\bar{A}$ und $\bar{B}$ systematisch eingetragen. Die Spalte $\bar{A} \vee \bar{B}$ gibt ein Zwischenergebnis wieder. Erst die vorletzte Spalte zeigt die logische Verknüpfung $Z = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$. Im Vergleich hierzu ist in der letzten Spalte die durch ein UND-Glied erzielte Verknüpfung $Z = A \wedge B$ angegeben.

UND, ODER, NICHT aus NAND

NICHT aus NAND, Bild 5/9a.

Die Eingänge des NAND-Gliedes werden parallel vom Eingangssignal angesteuert. Die NAND-Stufe negiert A.

$Z = \bar{A}$

UND aus NAND, Bild 5/9b.

Die durch die erste NAND-Stufe bewirkte Negation ist im Sinne der UND-Funktion nicht zulässig. Sie wird durch nachfolgende als Negator geschaltete zweite NAND-Stufe aufgehoben:

$Z = \overline{\overline{A \wedge B}} = A \wedge B$

Die oben angegebene doppelte Negation entfällt zwar im logischen Sinne, sie ist aber wegen der beiden NAND-Glieder schaltungstechnisch vorhanden.

ODER aus NAND, Bild 5/9c, Tabelle 5/3

Die Eingangsvariablen *A* und *B* werden dem NAND-Gatter N_3 über je eine als Negator geschaltete NAND-Stufe (N_1, N_2) zugeleitet. Die gesamte Schaltungsanordnung erzielt ODER-Verhalten. Der Nachweis der Richtigkeit der Darstellung wird in Tabelle 5/3 erbracht.

Tabelle 5/3. ODER aus NAND.

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{A} \wedge \bar{B}$	$Z = \overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}$	$Z = A \vee B$
0	0	L	L	L	0	0
0	L	L	0	0	L	L
L	0	0	L	0	L	L
L	L	0	0	0	L	L

NOR- und NAND-Glieder als Negatoren: eine Anmerkung zur Schaltungstechnik

Je nach elektronischer Ausführung der Digital-Bausteinsysteme können die verschiedensten Bezüge zwischen den elektrischen Potentialen und den Logik-Werten hergestellt werden.

So könnte z. B. eine Zuordnung 0 Volt ≙ log 0, + 9 Volt ≙ log L, eine andere Zuordnung 0 Volt ≙ log L, – 9 Volt ≙ log 0 lauten.

Die Konsequenz hieraus ist, daß je nach der elektronischen Ausführung des Digital-Bausteinsystems offene Baugliedereingänge als quasi mit L- oder mit 0-Signal beschaltet betrachtet werden müssen.

In Bild 5/10b sollen die offenen Gattereingänge quasi ein L-Signal führen. Um mit Hilfe eines NOR-Gatters eine Signalumkehr erzielen zu können, müssen bei dieser Zuordnung von elektronischen und logischen Werten die offenen NOR-Gattereingänge auf die system-interne 0-Leitung gelegt werden. Sie erinnern sich, daß bereits ein L-Signal am Eingang der NOR-Stufe den Ausgang *Z* auf 0 zwingen würde.

Im Gegensatz hierzu kann der zweite Eingang der NAND-Stufe offen bleiben. Wegen $Z = \overline{A \wedge L}$ wird der Eingang A mit Sicherheit negiert.

In Bild 5/10c sei angenommen, daß die offenen Gattereingänge quasi 0-Signal führen. Zur Erzielung einer Signalumkehr müssen in diesem Fall die freien Eingänge der NAND-Stufe auf die system-interne L-Leitung gelegt werden.

Um in den weiteren Abschnitten dieses Kapitels von diesen Zusammenhängen unabhängig zu sein, werden in den nachfolgenden Schaltungsbeispielen die NOR- bzw. NAND-Gatter bei der Verwendung als Negatoren so geschaltet, wie es Bild 5/10a zeigt.

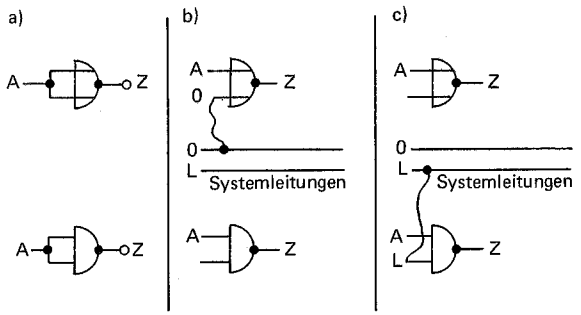


Bild 5/10. Die Art der Beschaltung freier Gatter-Eingänge ist von der jeweiligen technologischen Ausführung des Logiksystems abhängig.

a) Der nicht benutzte Eingang eines NAND- bzw. eines NOR-Gliedes wird zur Negation der Variablen *A* ebenfalls mit dieser Variablen beschaltet.

b) Im angenommenen Logiksystem kommt ein offener Gatter-Eingang einem L-Signal gleich.

c) Im angenommenen Logiksystem kommt ein offener Gatter-Eingang einem 0-Signal gleich.

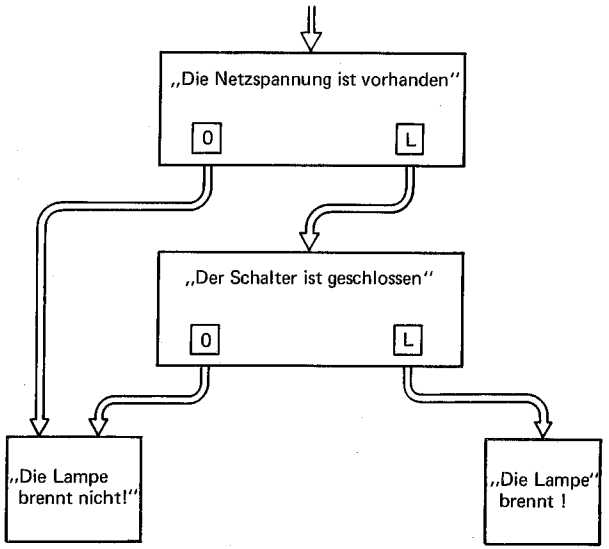


Bild 5/11. UND-Verknüpfung für die Bejahung, ODER-Verknüpfung für die Verneinung der Aussagen.

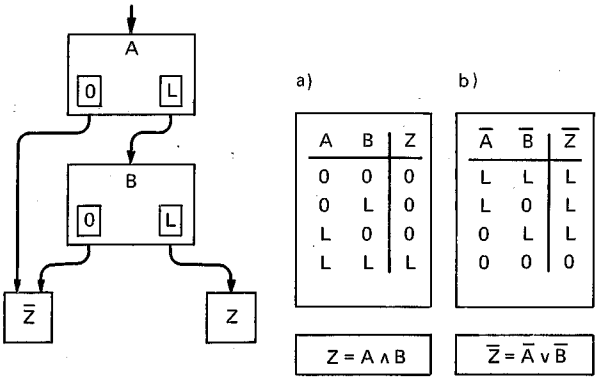


Bild 5/12. Funktionstabelle zum Nachweis der logischen Zusammenhänge nach Bild 5/11.
a) Bejahung.
b) Verneinung.

Der Schlüssel zur NOR- und NAND-Schaltungstechnik

Sachlogische Beschreibungen, die auf menschlichen Sprachgepflogenheiten beruhen, enthalten UND-, ODER- und NICHT-Verknüpfungen. Sind diese logischen Grundzusammenhänge in NOR- und NAND-Technik zu realisieren, so müssen sie entsprechend umgewandelt und dargestellt werden. Den Schlüssel hierzu liefert die De Morgansche Regel, deren Aussage wir uns an zwei einfachen Beispielen erarbeiten wollen.

Beispiel 1
Die logischen Zusammenhänge, die in Bild 5/11 dargestellt sind, lassen sich in zwei Varianten formulieren.

1. „Die Lampe brennt, wenn die Netzspannung vorhanden ist und wenn der Schalter geschlossen ist", Bild 5/12a.
2. „Die Lampe brennt nicht, wenn die Netzspannung nicht vorhanden ist oder wenn der Schalter nicht geschlossen ist", Bild 5/12b.

In der ersten Variante ergibt sich für die Problemstellung eine UND-Verknüpfung, in der zweiten eine ODER-Verknüpfung, je nachdem, ob man den Inhalt der Problemstellung allgemein auf Bejahung oder allgemein auf Verneinung formuliert.

Diesem ersten Beispiel entnehmen wir folgende Regel:
„Die auf das Eintreten des Ereignisses und auf Erfüllung der Bedingungen bezogene UND-Funktion stellt eine auf das Nichteintreten des Ereignisses und auf die Nichterfüllung der Bedingungen bezogene ODER-Funktion dar", Bild 5/12.

Beispiel 2
Die logischen Zusammenhänge, die in Bild 5/13 dargestellt sind, lassen sich in zwei Varianten formulieren.

1. „Die Hausglocke ertönt, wenn der Etagentaster betätigt wird oder wenn der Hauseingangstaster betätigt wird", Bild 5/14a.
2. „Die Hausglocke ertönt nicht, wenn der Etagentaster nicht betätigt wird und wenn der Hauseingangstaster nicht betätigt wird", Bild 5/14b.

In der ersten Variante ergibt sich für die Problemstellung eine ODER-Verknüpfung, in der zweiten eine UND-Verknüpfung, je nachdem, ob man den Inhalt der Problemstellung allgemein auf Bejahung oder allgemein auf Verneinung formuliert.

Diesem zweiten Beispiel kann folgende Regel entnommen werden:
„Die auf das Eintreten des Ereignisses und auf die Erfüllung der Bedingungen bezogene ODER-Funktion stellt eine auf das Nichteintreten des Ereignisses und auf die Nichterfüllung der Bedingungen bezogene UND-Funktion dar", Bild 5/14.

Aus diesen gewonnenen logischen Einsichten läßt sich die De Morgansche Regel wie folgt ableiten:

Nach Beispiel 1

$$Z = A \wedge B \qquad \bar{Z} = \bar{A} \vee \bar{B}$$
$$\bar{\bar{Z}} = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$$
$$Z = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$$

$$\boxed{A \wedge B = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}}$$

Nach Beispiel 2

$$Z = A \vee B \qquad \bar{Z} = \bar{A} \wedge \bar{B}$$
$$\bar{\bar{Z}} = \overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}$$
$$Z = \overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}$$

$$\boxed{A \vee B = \overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}}$$

Die De Morgansche Regel in der allgemeinen Form:

$$\boxed{A \vee B \vee C \vee \ldots = \overline{\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge \ldots}}$$

$$\boxed{A \wedge B \wedge C \wedge \ldots = \overline{\bar{A} \vee \bar{B} \vee \bar{C} \vee \ldots}}$$

Übung 5/2

Formulieren Sie in eine ODER-Beziehung um: „Ich fahre in Urlaub, wenn ich im Betrieb freikomme *und* wenn ich genügend Geld habe."

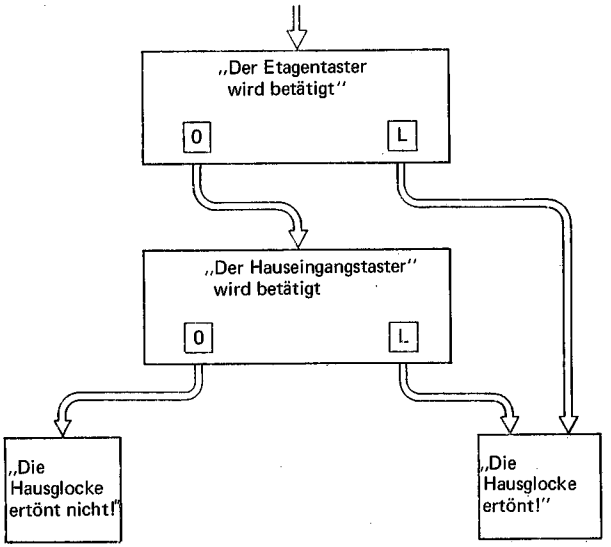


Bild 5/13. ODER-Verknüpfung für die Bejahung, UND-Verknüpfung für die Verneinung der Aussagen.

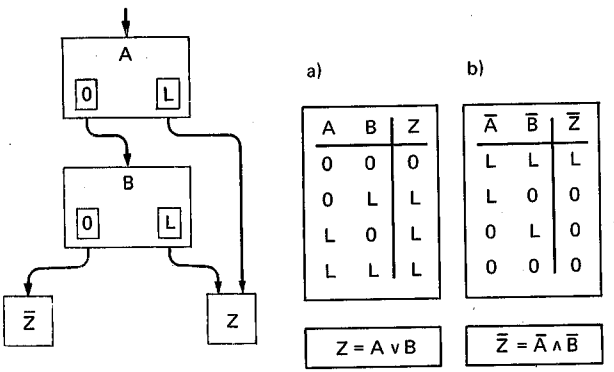


Bild 5/14. Funktionstabelle zum Nachweis der logischen Zusammenhänge nach Bild 5/13.
a) Bejahung.
b) Verneinung.

Anwendung der De Morganschen Regel

Die Umwandlung einer gegebenen logischen Funktion erfolgt nach der De Morganschen Regel in drei Phasen.

1. Jede einzelne Variable wird negiert.
2. Die Logikzeichen werden vertauscht.
   Aus $\vee$ wird $\wedge$, aus $\wedge$ wird $\vee$.
3. Der gesamte Ausdruck wird negiert.

Wichtiger Hinweis:

Bei logischen Funktionen, die aus Unterfunktionen zusammengesetzt sind, z. B. $Z = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$, müssen die Teilfunktionen gesondert nach diesen 3 Phasen behandelt werden. Diese Bedingung ist in jedem Falle zu beachten, da sonst Fehlergebnisse auftreten. Wichtig ist ferner, daß die Umwandlung in allen drei genannten Phasen verläuft. Wird auch nur eine ausgelassen, so entsteht ein fehlerhaftes Ergebnis. Dies wird besonders am Anfang der Übung geschehen können. Wer dieses mathematische Umwandlungsverfahren nicht sicher beherrscht, kann auf eines der graphischen Umwandlungsverfahren ausweichen, die in diesem Kapitel (S. 114) bzw. den Übungen Seite 131 bis 133 dargelegt werden.

Beispiel 1

Gegebene Funktion:

$Z = A \wedge \bar{B} \wedge C$

$\bar{A} \wedge \bar{\bar{B}} \wedge \bar{C}$ (1. Phase)
$\overline{\bar{A} \vee \bar{\bar{B}} \vee \bar{C}}$ (2. Phase)
$\bar{\bar{A}} \vee \bar{\bar{B}} \vee \bar{\bar{C}}$ (3. Phase)

Ergebnis

$Z = \overline{\bar{A} \vee \bar{\bar{B}} \vee \bar{C}}$

$Z = \overline{\bar{A} \vee B \vee \bar{C}}$

Beispiel 2

Gegebene Funktion:

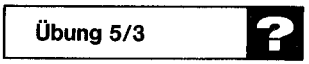
$Z = \overline{\bar{A} \vee B \vee \bar{C}}$

$\overline{\bar{A} \vee \bar{B} \vee \bar{\bar{C}}}$ (1. Phase)
$\overline{\bar{\bar{A}} \wedge \bar{\bar{B}} \wedge \bar{C}}$ (2. Phase)
$\bar{\bar{A}} \wedge \bar{\bar{B}} \wedge \bar{\bar{C}}$ (3. Phase)

Ergebnis

$Z = \overline{\bar{\bar{A}} \wedge \bar{\bar{B}} \wedge \bar{\bar{C}}}$

$Z = A \wedge \bar{B} \wedge C$

Übung 5/3 

Wandeln Sie mit Hilfe der De Morganschen Regel um:
a) $Z = \bar{A} \wedge B \wedge C$.
b) $Z = A \vee \bar{B} \vee C \vee \bar{D}$.
c) $Z = \overline{\bar{A} \vee B}$.
d) $Z = (A \wedge B) \vee \bar{C}$.

Entwurf einer logischen Schaltung unter ausschließlicher Verwendung von NOR-Gliedern

Beispiel 1
Die logische Funktion
$Z = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$
soll ausschließlich mit NOR-Gliedern realisiert werden.
Zu diesem Zweck wird die gegebene Funktion Z in Teilfunktionen aufgelöst.
$Z = U \vee V$
$U = A \wedge \bar{B}$
$V = \bar{A} \wedge B$.

Die Teilfunktionen werden mit Hilfe der De Morganschen Regel auf NOR-Technik umgeschrieben.
Aus
$U = A \wedge \bar{B}$ wird $U = \overline{\bar{A} \vee B}$,
aus
$V = \bar{A} \wedge B$ wird $V = \overline{A \vee \bar{B}}$.
Die durch die Verwendung der De Morganschen Regel erzielten Negationen über den Teilfunktionen entsprechen den Signalverknüpfungen, die durch NOR-Glieder erzielt werden.

Betrachten wir nun die Gesamtfunktion
$Z = U \vee V$.
Die Gesamtfunktion kann nicht direkt mit einer NOR-Stufe erreicht werden.
Eine NOR-Stufe würde
$\bar{Z} = \overline{U \vee V}$
bringen.
Die an sich unerwünschte, aber bei NOR-Gliedern nicht zu vermeidende Negation muß durch eine zweite Negation wieder aufgehoben werden.
Somit ergibt sich aus $Z = U \vee V$ die Funktion
$Z = \overline{\overline{U \vee V}}$.
Man setzt jetzt $V = \overline{A \vee \bar{B}}$ und $U = \overline{\bar{A} \vee B}$ ein und erhält die der NOR-Technik entsprechende Funktion

$$Z = \overline{\overline{(\bar{A} \vee B)} \vee \overline{(A \vee \bar{B})}}.$$

Die doppelte Negation der rechten Seite der Gleichung darf nicht eliminiert werden, da sie durch die NOR-Technik bedingt wird, d. h. durch die ausschließliche Verwendung von NICHT- ODER(NOR)-Gliedern. In früheren einführenden Beispielen wurde bereits auf diese Zusammenhänge hingewiesen.
Die in der Schaltung benötigten Negationen der Variablen A und B werden ebenfalls – in der bekannten Weise – durch NOR-Glieder erzielt.

In Bild 5/15 wird die der Funktion $Z = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$ entsprechende Logik-Schaltung wiedergegeben. Der zugehörenden Tabelle 5/4 entnimmt man die durch die Schaltung erzielten logischen Verknüpfungen.
Bild 5/16 gibt die in NOR-Technik entwickelte Logik-Schaltung wieder, die im logischen Endverknüpfungsergebnis der Schaltung nach Bild 5/15 entspricht. Der Nachweis

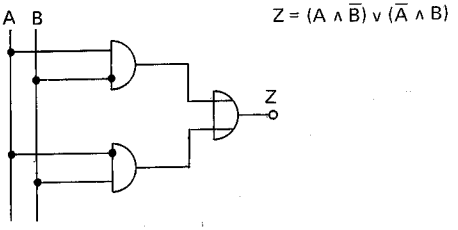


Bild 5/15. Vorgegebene Schaltung in UND/ODER/NICHT-Logik.

Tabelle 5/4. Funktionstabelle zu Bild 5/15.

$Z = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$A \wedge \bar{B}$	$\bar{A} \wedge B$	Z
0	0	L	L	0	0	0
0	L	L	0	0	L	L
L	0	0	L	L	0	L
L	L	0	0	0	0	0

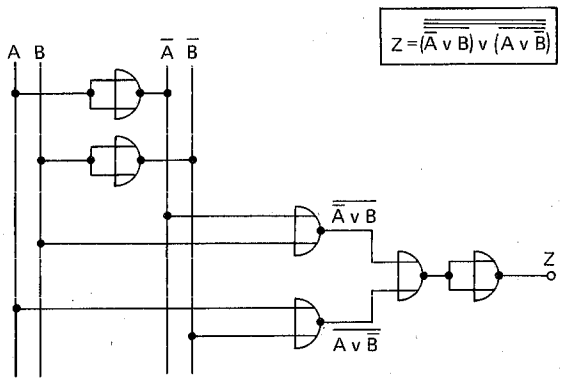


Bild 5/16. In NOR-Technik umgewandelte Logikschaltung nach Bild 5/15.

Tabelle 5/5. Funktionstabelle zu Bild 5/16.

$Z = \overline{\overline{(\bar{A} \vee B)} \vee \overline{(A \vee \bar{B})}}$

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{A} \vee B$	$\overline{\bar{A} \vee B}$	$A \vee \bar{B}$	$\overline{A \vee \bar{B}}$	$U \vee V$	$\overline{U \vee V}$	$Z = \overline{\overline{U \vee V}}$
0	0	L	L	L	0	L	0	0	L	0
0	L	L	0	L	0	0	L	L	0	L
L	0	0	L	0	L	L	0	L	0	L
L	L	0	0	L	0	L	0	0	L	0

hierzu wird in Tabelle 5/5 erbracht. Beachten Sie, daß die mittleren Spalten zur Erleichterung des Verständnisses die Zwischenergebnisse wiedergeben.

Beispiel 2

Die logische Funktion

$Z = (A \vee B) \wedge (\bar{A} \vee \bar{B})$

soll ausschließlich mit NOR-Gliedern realisiert werden.
Zu diesem Zweck wird sie in Teilfunktionen aufgelöst

$Z = U \wedge V$

$U = A \vee B \qquad V = \bar{A} \vee \bar{B}$

Die ermittelten Teilfunktionen stellen ODER-Verknüpfungen dar. Bei einer Umwandlung auf NOR-Technik kann für die Teilfunktionen die De Morgansche Regel nicht angewandt werden, da hierdurch das Logik-Zeichen geändert würde!
Durch die schaltungstechnische Verwendung von NOR-Gliedern wird anstatt $U = A \vee B$
die Beziehung $\bar{U} = \overline{A \vee B}$ bzw. anstatt $V = \bar{A} \vee \bar{B}$
die Beziehung $\bar{V} = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$ bewirkt.
Zur Aufhebung der unerwünschten Negationen muß jeweils eine zweite Negation nachgeschaltet werden.

Somit ergibt sich

$U = \overline{\overline{A \vee B}}$

$V = \overline{\overline{\bar{A} \vee \bar{B}}}$

Die Gesamtfunktion Z wird nach De Morgan umgewandelt.
Aus $Z = U \wedge V$ wird

$Z = \overline{\bar{U} \vee \bar{V}}$

Die über $Z = \overline{\bar{U} \vee \bar{V}}$ erzielte Negation entspricht genau der Signalverknüpfung, die mit einem einzelnen NOR-Glied erreicht wird.

Nun erkennt man in $Z = \overline{\bar{U} \vee \bar{V}}$, daß zur Realisierung der Schaltung in NOR-Technik nicht die Teilfunktionen U und V selbst, sondern ihre Negationen $\bar{U}$ und $\bar{V}$ benötigt werden. So läßt sich hierdurch auf $\bar{U} = \overline{A \vee B}$ und $\bar{V} = \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$ zurückgreifen.

Es ergibt sich für Z die Beziehung

$Z = \overline{\overline{(A \vee B)} \vee \overline{(\bar{A} \vee \bar{B})}}$.

In den Bildern 5/17 und 5/18 bzw. in den Tabellen 5/6 und 5/7 wird der Nachweis erbracht, daß die beiden Darstellungen für Z – einmal in UND- ODER- NICHT-Technik und einmal in NOR-Technik – für die Funktion Z bezüglich ihrer Endverknüpfungsergebnisse identisch sind.

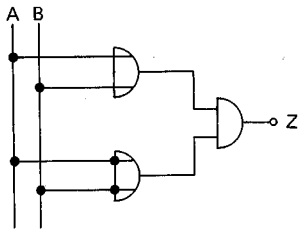


Bild 5/17. Vorgegebene Schaltung in UND/ODER/NICHT-Logik.

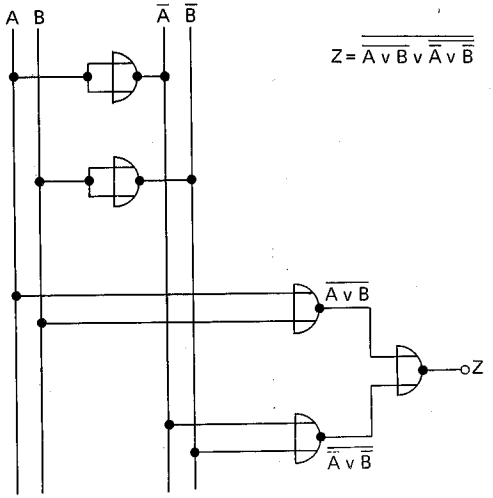


Bild 5/18. In NOR-Technik umgewandelte Logikschaltung nach Bild 5/17.

Tabelle 5/6. Funktionstabelle zu Bild 5/17.

$Z = (A \vee B) \wedge (\bar{A} \vee \bar{B})$

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	A v B	$\bar{A} \vee \bar{B}$	Z
0	0	L	L	0	L	0
0	L	L	0	L	L	L
L	0	0	L	L	L	L
L	L	0	0	L	0	0

Übung 5/4

Realisieren Sie folgende Schaltung in NAND-Technik:

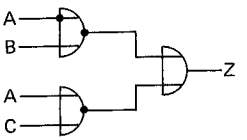


Tabelle 5/7. Funktionstabelle zu Bild 5/18.

$Z = \overline{\overline{(A \vee B)} \vee \overline{(\bar{A} \vee \bar{B})}}$

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	A v B	$\overline{A \vee B}$	$\bar{A} \vee \bar{B}$	$\overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$	U v V	$Z = \overline{U \vee V}$
0	0	L	L	0	L	L	0	L	0
0	L	L	0	L	0	L	0	0	L
L	0	0	L	L	0	L	0	0	L
L	L	0	0	L	0	0	L	L	0

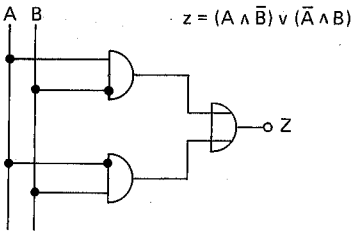


Bild 5/19. Vorgegebene Schaltung in UND/ODER/NICHT-Logik.

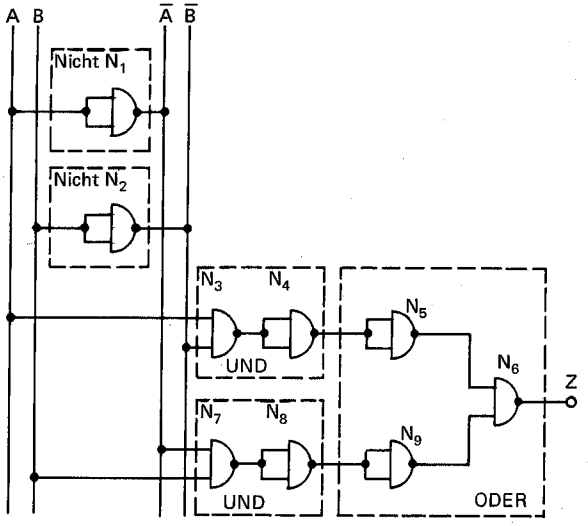


Bild 5/20. Durch das graphische Einsetzverfahren in NAND-Technik umgewandelte Logikschaltung nach Bild 5/19.

Übung 5/5

Erbringen Sie mit Hilfe der Funktionstabelle den Nachweis, daß die Schaltungen nach Bild 5/19 und 5/21 bezüglich ihres Endverknüpfungsergebnisses identisch sind.

Zeichnerischer Entwurf einer logischen Schaltung unter ausschließlicher Verwendung von NAND-Gliedern

Die logische Funktion

$Z = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$

soll ausschließlich mit NAND-Gliedern realisiert werden. Dabei sollen die in der gegebenen Funktion enthaltenen UND-, ODER- und NICHT-Glieder auf zeichnerischem Wege durch NAND-Gatter ersetzt werden.

Beachten Sie in diesem Zusammenhang bitte, den Abschnitt „UND, ODER, NICHT aus NAND", hier besonders die Bilder 5/9a bis 5/9c.

Zuerst wird die vorgegebene Funktion $Z = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$ in einen Logik-Schaltplan umgesetzt, Bild 5/19. Nun wird jede der in der Schaltung enthaltenen Logik-Stufen entsprechend der Beziehungen nach Bild 5/9 durch eine bzw. zwei oder drei NAND-Glieder ersetzt. Das Ergebnis dieses Einsetzverfahrens zeigt Bild 5/20.

Die somit vorliegende Schaltung wird auf Möglichkeiten der Schaltungsvereinfachung überprüft. Immer dann, wenn zwei als Negatoren hintereinandergeschaltete NAND-Stufen auftreten, können sie beide (doppelte Negation!) gestrichen werden. Dies ist z. B. bei den NAND-Gliedern N_4 und N_5 bzw. N_8 und N_9 der Fall.

Die vereinfachte Schaltung ist in Bild 5/21 wiedergegeben. Dieser Schaltung läßt sich die logische Funktionsgleichung

$Z = \overline{\overline{A \wedge \bar{B}} \wedge \overline{\bar{A} \wedge B}}$

entnehmen.

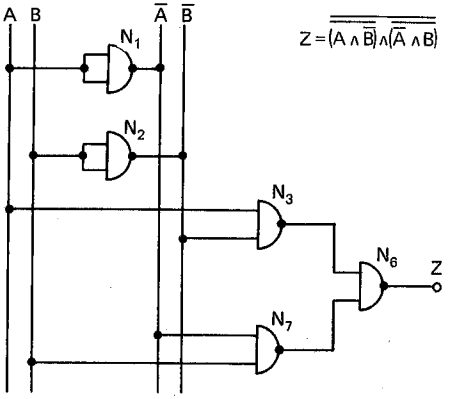


Bild 5/21. In NAND-Technik umgewandelte Logikschaltung nach Streichung der doppelten Negationen in Bild 5/20.

Äquivalenz – Antivalenz

Eine Äquivalenz zweier binär-logischer Variablen liegt immer dann vor, wenn entweder beide Variablen L- oder beide 0-Zustände annehmen.

Zur Überprüfung der Äquivalenz zweier binärer Signale kann eine Äquivalenzschaltung eingesetzt werden, wie sie Bild 5/22 zeigt.

Beachten Sie die zu Bild 5/22 zugehörige Tabelle 5/8. In beiden Fällen $A = 0$, $B = 0$ und $A = L$, $B = L$ liegt Äquivalenz vor. Diese Signalkombinationen werden am Ausgang Z der Schaltung als L-Signal angezeigt.

Die Antivalenz stellt im Prinzip die Negation der Äquivalenz dar. Somit liegt immer dann eine Antivalenz zweier binär-logischer Variablen vor, wenn beide ungleiche Zustände annehmen.

Auch zur Überprüfung der Antivalenz zweier Signale wurden entsprechende Schaltungen entwickelt, Bild 5/23.

Beachten Sie die zu Bild 5/23 zugehörige Tabelle 5/9. In den Fällen $A = 0$, $B = L$ und $A = L$, $B = 0$ liegt Antivalenz vor. Diese beiden Signalkombinationen werden am Ausgang Z der Antivalenzschaltung als L-Signal angezeigt.

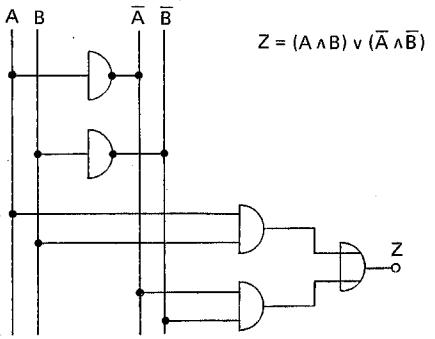


Bild 5/22. Äquivalenzschaltung.

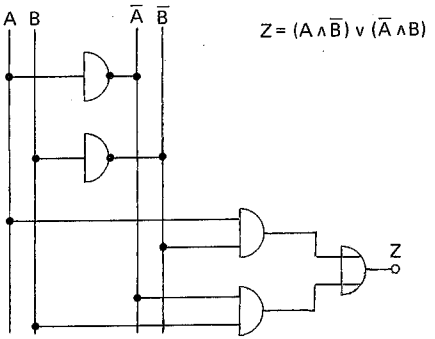


Bild 5/23. Antivalenzschaltung.

Tabelle 5/8. Funktionstabelle zu Bild 5/22.

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	A ∧ B	$\overline{A}$ ∧ $\overline{B}$	Z = (A ∧ B) v ($\overline{A}$ ∧ $\overline{B}$)
0	0	L	L	0	L	L
0	L	L	0	0	0	0
L	0	0	L	0	0	0
L	L	0	0	L	0	L

Tabelle 5/9. Funktionstabelle zu Bild 5/23.

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	A ∧ $\overline{B}$	$\overline{A}$ ∧ B	Z = (A ∧ $\overline{B}$) v ($\overline{A}$ ∧ B)
0	0	L	L	0	0	0
0	L	L	0	0	L	L
L	0	0	L	L	0	L
L	L	0	0	0	0	0

Übung 5/6

Untersuchen Sie, ob es sich bei den Schaltungen nach Bild 5/24 und 5/25 jeweils um eine Antivalenz- oder eine Äquivalenz-Schaltung handelt.

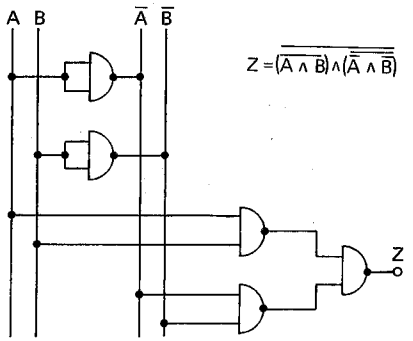


Bild 5/24.

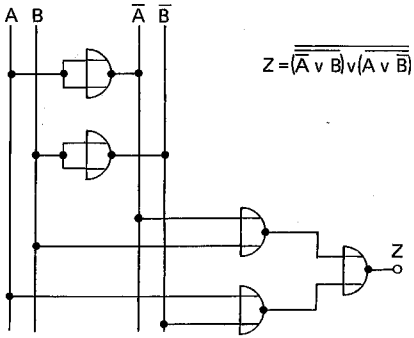


Bild 5/25.

Übung 5/7

Die schaltungstechnische Analyse von NOR- und NAND-Schaltungen muß wegen der Bedeutung dieser Schaltungen intensiv geübt werden. Befassen Sie sich aus diesem Grunde mit den Schaltungen nach Bild 5/26 bis 5/31 und ergänzen die jeweils zugeordnete Funktionstabelle, Tabelle 5/10 bis 5/15.

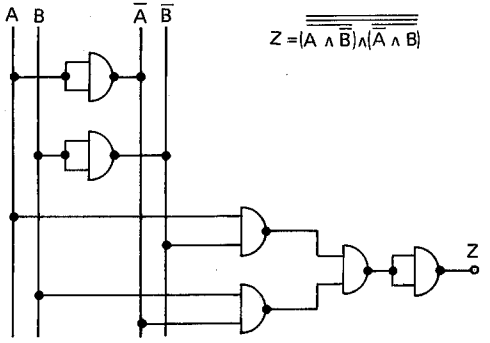


Bild 5/26

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A \wedge \overline{B}}$	$\overline{\overline{A} \wedge B}$	$Z = \overline{\overline{(A \wedge \overline{B}) \wedge (\overline{A} \wedge B)}}$
0	0	L	L			
0	L	L	0			
L	0	0	L			
L	L	0	0			

Tabelle 5/10

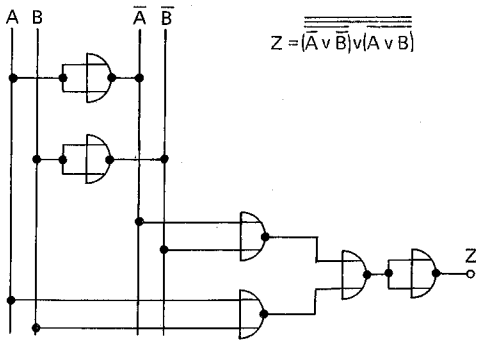


Bild 5/27

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A \vee B}$	$\overline{\overline{A} \vee \overline{B}}$	$Z = \overline{\overline{(A \vee B) \vee (\overline{A} \vee \overline{B})}}$
0	0	L	L			
0	L	L	0			
L	0	0	L			
L	L	0	0			

Tabelle 5/11

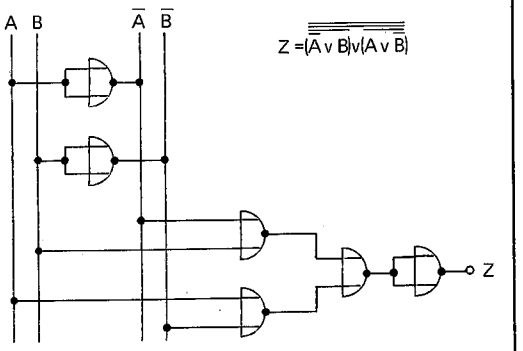


Bild 5/28

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{\overline{A} \vee B}$	$\overline{A \vee \overline{B}}$	$Z = \overline{\overline{(\overline{A} \vee B)} \vee \overline{(A \vee \overline{B})}}$
0	0	L	L			
0	L	L	0			
L	0	0	L			
L	L	0	0			

Tabelle 5/12

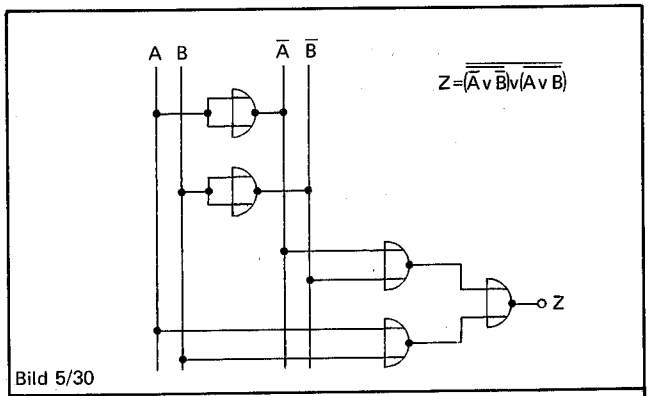


Bild 5/30

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{\overline{A} \vee B}$	$\overline{A \vee \overline{B}}$	$Z = \overline{\overline{(\overline{A} \vee B)} \vee \overline{(A \vee \overline{B})}}$
0	0	L	L			
0	L	L	0			
L	0	0	L			
L	L	0	0			

Tabelle 5/14

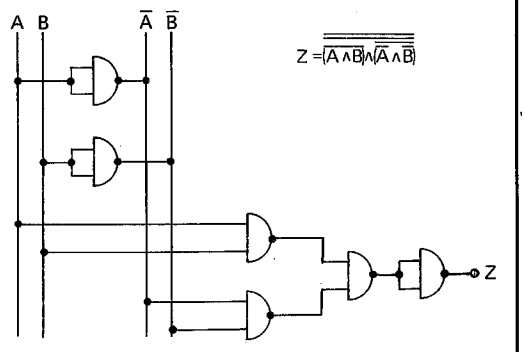


Bild 5/29

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A \wedge B}$	$\overline{\overline{A} \wedge B}$	$Z = \overline{\overline{(A \wedge B)} \wedge \overline{(\overline{A} \wedge B)}}$
0	0	L	L			
0	L	L	0			
L	0	0	L			
L	L	0	0			

Tabelle 5/13

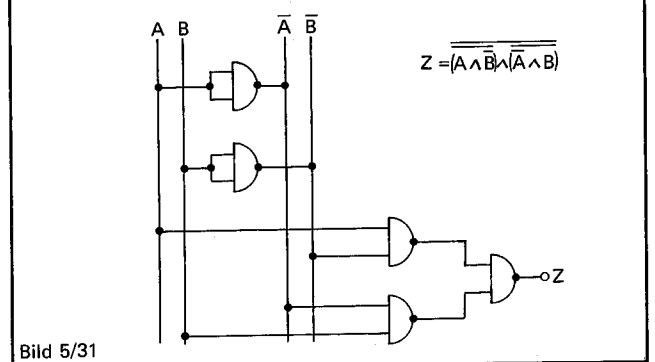


Bild 5/31

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A \wedge B}$	$\overline{\overline{A} \wedge B}$	$Z = \overline{\overline{(A \wedge B)} \wedge \overline{(\overline{A} \wedge B)}}$
0	0	L	L			
0	L	L	0			
L	0	0	L			
L	L	0	0			

Tabelle 5/15

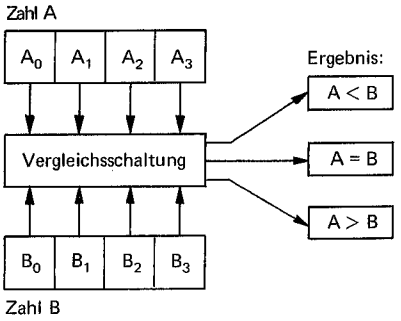


Bild 5/32. Prinzip des Kleiner-Größer-Gleich-Vergleichs zweier Zahlen *A* und *B*.

Tabelle 5/16. Funktionstabelle zum Kleiner-Größer-Gleich-Vergleich zweier binärer Variablen.

A	B	A < B	A > B	A = B
0	0	0	0	L
0	L	L	0	0
L	0	0	L	0
L	L	0	0	L

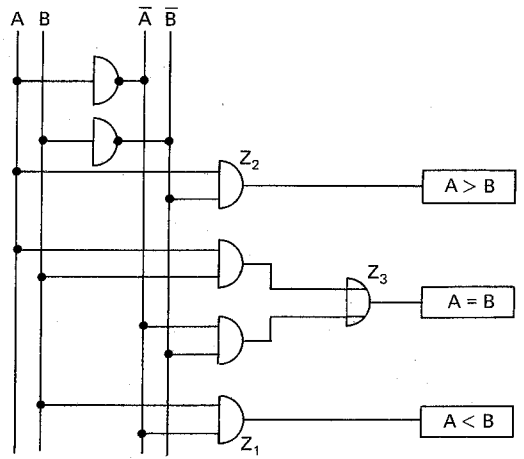


Bild 5/33. Kleiner-Größer-Gleich-Schaltung in UND/ODER/NICHT-Technik.

Kleiner-Größer-Gleich-Schaltung

Beim Vergleich zweier Dualzahlen, Bild 5/32, A und B mit den Stellen A_0, A_1, A_2, A_3 und B_0, B_1, B_2, B_3 werden die einzelnen Dualstellen der beiden Zahlen miteinander verglichen. Unter Berücksichtigung der Stellenwerte der einzelnen Dualstellen kann auf diesem Wege ermittelt werden, ob die beiden Zahlen gleich sind, oder ob $A < B$ oder $A > B$ ist.

Dieses Verfahren läßt sich vereinfacht auf den Kleiner-Größer-Gleich-Vergleich zweier binärer Variablen *A* und *B* zurückführen. In diesem Vergleich sind drei Ergebnisse möglich, Tabelle 5/16:
Es kann $A < B$ oder $A > B$ oder $A = B$ sein.
Da jede der beiden Variablen nur die beiden Zustände 0 oder L annehmen kann, ergibt sich das Vergleichsergebnis A < B für die Variablen-Zustandkombination $A = 0$, $B = L$.
Das Vergleichsergebnis $A > B$ ermittelt man im Falle $A = L$, $B = 0$.
Für die Variablen-Zustands-Kombinationen $A = 0$, $B = 0$ und $A = L$, $B = L$ ergibt sich die Aussage $A = B$.
Bild 5/33 zeigt die vollständige Vergleichsschaltung für zwei Variable *A* und *B*. Tabelle 5/17 gibt die logischen Verknüpfungen wieder, die zur Ergebnisbildung herangezogen werden müssen.

Tabelle 5/17. Funktionstabelle zu Bild 5/33.

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$Z_1 = \overline{A} \wedge B$	$Z_2 = A \wedge \overline{B}$	$Z_3 = (A \wedge B) \vee (\overline{A} \wedge \overline{B})$
0	0	L	L	0	0	L
0	L	L	0	L	0	0
L	0	0	L	0	L	0
L	L	0	0	0	0	L

Vergleichsschaltung in NOR-Technik

Unter Anwendung der De Morganschen Regel kommt man von den Grundbeziehungen
$Z_1 = \bar{A} \wedge B$ für $A < B$
$Z_2 = A \wedge \bar{B}$ für $A > B$
$Z_3 = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$ für $A = B$
zu einem Schaltungsentwurf in NOR-Technik.
Aus $Z_1 = \bar{A} \wedge B$ und $Z_2 = A \wedge \bar{B}$ wird nach *De Morgan*

$$Z_1 = \overline{A \vee \bar{B}} \quad \text{und} \quad Z_2 = \overline{\bar{A} \vee B}.$$

So, wie $Z_3 = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$ eine Äquivalenz-Funktion darstellt, so stellt auch $Z_3 = \overline{(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)}$ eine Äquivalenz-Funktion dar.

Die letzte der beiden Funktionen eignet sich besonders zur Umsetzung in NOR-Technik. Es ergibt sich in Verbindung mit den Funktionen Z_1 und Z_2 eine wenig aufwendige Logik-Schaltung.

Aus $Z_3 = \overline{(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)}$
wird

$$Z_3 = \overline{\overline{(\bar{A} \vee B)} \vee \overline{(A \vee \bar{B})}}.$$

Man sieht, daß Z_3 die Funktionen Z_1 und Z_2 als Teilfunktionen zum Inhalt hat.

Die vollständige Vergleichsschaltung in NOR-Technik wird in Bild 5/34 wiedergegeben. Sie entspricht unserer Ableitung. Verfolgen Sie die Funktion der Schaltung anhand der Funktionstabelle 5/18.

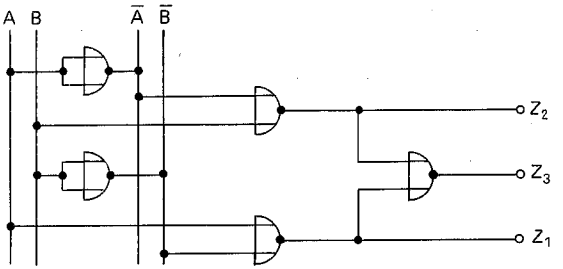


Bild 5/34. Kleiner-Größer-Gleich-Schaltung in NOR-Technik.

Tabelle 5/18. Funktionstabelle zu Bild 5/34.

A	B	Ā	B̄	Z_1	Z_2	Z_3
0	0	L	L	0	0	L
0	L	L	0	L	0	0
L	0	0	L	0	L	0
L	L	0	0	0	0	L

Vergleichsschaltung in NAND-Technik

Unter Anwendung der Logik-Gesetze kommt man zu einem Schaltungsentwurf der Vergleichsschaltung in NAND-Technik.
Bild 5/35 gibt die Schaltung wieder.

Übung 5/8

Bestimmen Sie die Schaltungsausgänge Z_1, Z_2 und Z_3 (Bild 5/35); vervollständigen Sie die zugehörige Funktionstabelle nach Tabelle 5/19.

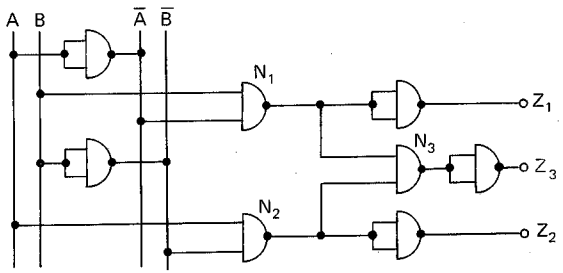


Bild 5/35. Kleiner-Größer-Gleich-Schaltung in NAND-Technik.

Tabelle 5/19. Funktionstabelle zu Bild 5/35.

A	B	Ā	B̄	N_1	N_2	N_3	Z_1	Z_2	Z_3
0	0	L	L						
0	L	L	0						
L	0	0	L						
L	L	0	0						

Tabelle 5/20. Funktionstabelle zur 2-aus-3-Auswahlschaltung.

	A	B	C	Z
1.)	0	0	0	0
2.)	0	0	L	0
3.)	0	L	0	0
4.)	0	L	L	L
5.)	L	0	0	0
6.)	L	0	L	L
7.)	L	L	0	L
8.)	L	L	L	L

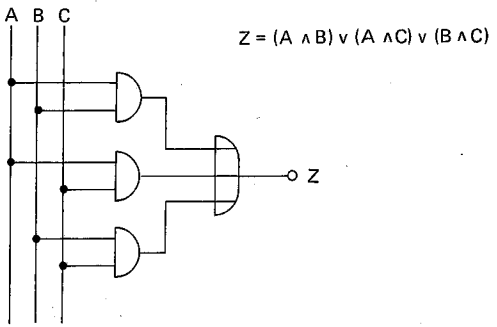


Bild 5/36. 2-aus-3-Auswahlschaltung.

2-aus-3-Sicherheitsschaltung

Besonders kritische Meßgrößen in gefährdeten oder wirtschaftlich wichtigen Anlagen werden mehrfach überwacht.

Nehmen wir an, die Temperatur eines chemischen Prozesses dürfe einen bestimmten Höchstwert nicht überschreiten. Beim Erreichen der kritischen Temperatur muß dann eine Alarmmeldung in Form eines elektrischen Signals gegeben werden, die die Außerbetriebsetzung der Anlage zur Folge hat.

Wird eine kritische Meßgröße, wie in unserem Fall die Temperatur, nur über ein Meßgerät überwacht, so könnte durch einen Fehler in der Meßeinrichtung der Alarm fälschlicherweise ausgelöst werden. Dies kann dann erhebliche wirtschaftliche und betriebliche Folgen nach sich ziehen.

Man sichert sich bei wichtigen Anlagen gegen solche Fehlabschaltungen dadurch ab, daß man die zu überwachende Meßgröße dreifach erfaßt. Nur im Falle, wenn mindestens 2 von 3 Meßgebern eine Überschreitung des kritischen Meßwertes signalisieren, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit kein Fehlalarm vor.

Logikschaltungen, die nach diesem Sicherheitsprinzip arbeiten, werden 2-aus-3-Sicherheitsschaltungen oder 2-aus-3-Auswahlschaltungen genannt.

Bezeichnet man die in solchen Schaltungen verwendeten 3 Meßgeber mit A, B und C, so läßt sich eine Funktionstabelle entwickeln, Tabelle 5/20.

Die Sicherheitsschaltung hat gemäß der Aufgabenstellung für die Signalkombinationen A = 0, B = L, C = L und A = L, B = 0, C = L und A = L, B = L, C = 0 am Ausgang Z jeweils ein L-Signal zu bilden. Die achte Signalkombination in Tabelle 5/20 (A = L, B = L, C = L) wird im Sinne der Problemstellung bereits in den unter Nr. 4, 6 und 7 (Tab. 5/20) aufgeführten Signalkombinationen erfaßt. In der Sicherheitsschaltung nach Bild 5/36 werden somit auch nur 3 statt 4 UND-Stufen benötigt.

In den nachfolgenden Bildern 5/37 und 5/38 werden 2-aus-3-Auswahlschaltungen in NOR- bzw. NAND-Technik vorgestellt. Anhand der zugeordneten Tabellen 5/21 bzw. 5/22 lassen sich die schaltungsinternen Signalverknüpfungen verfolgen.

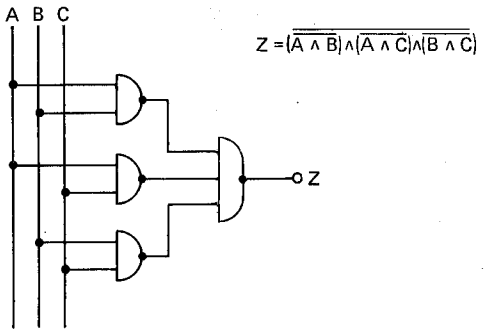


Bild 5/37. 2-aus-3-Auswahlschaltung in NAND-Technik.

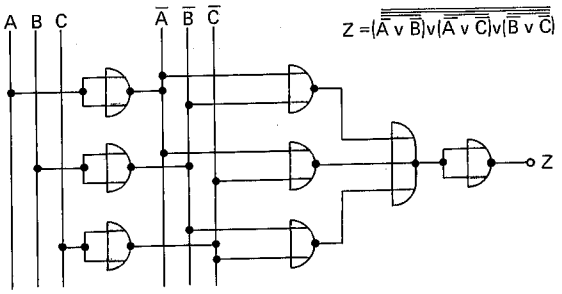


Bild 5/38. 2-aus-3-Auswahlschaltung in NOR-Technik.

Tabelle 5/21. Funktionstabelle zu Bild 5/37.

A	B	C	$\overline{A \wedge B}$	$\overline{A \wedge C}$	$\overline{B \wedge C}$	$Z = \overline{(A \wedge B) \wedge (A \wedge C) \wedge (B \wedge C)}$
0	0	0	L	L	L	0
0	0	L	L	L	L	0
0	L	0	L	L	L	0
0	L	L	L	L	0	L
L	0	0	L	L	L	0
L	0	L	L	0	L	L
L	L	0	0	L	L	L
L	L	L	0	0	0	L

Tabelle 5/22. Funktionstabelle zu Bild 5/38.

A	B	C	Ā	B̄	C̄	$\overline{A \vee B}$	$\overline{A \vee C}$	$\overline{B \vee C}$	$Z = \overline{(\overline{A \vee B}) \vee (\overline{A \vee C}) \vee (\overline{B \vee C})}$
0	0	0	L	L	L	0	0	0	0
0	0	L	L	L	0	0	0	0	0
0	L	0	L	0	L	0	0	0	0
0	L	L	L	0	0	0	0	L	L
L	0	0	0	L	L	0	0	0	0
L	0	L	0	L	0	0	L	0	L
L	L	0	0	0	L	L	0	0	L
L	L	L	0	0	0	L	L	L	L

Erfassung von Schwellwerten

Immer dann, wenn in einer Digitalanlage mindestens *n* Signale von insgesamt *m* möglichen Signalen vorliegen müssen, um eine Logik-Schaltfunktion zu erfüllen und am Ausgang Z dieser Schaltung ein L-Signal auszulösen, werden sog. Schwellwertschaltungen, Bild 5/39, eingesetzt.

In diesem Abschnitt werden zwei Schwellwertschaltungen in NAND-Technik vorgestellt. Beiden Schaltungen ist gemeinsam, daß jeweils $m = 5$ Signalleitungen (A, B, C, D, E) überwacht werden.

In der Schaltung nach Bild 5/40 liegt der Schwellwert bei 3-aus-5, d. h. es müssen mindestens 3 Eingangsleitungen L-Signal führen, damit am Ausgang *Z* ein L-Signal ausgegeben wird.

Bild 5/41 zeigt eine 4-aus-5-Auswahlschaltung. Hier liegt der Schwellwert bei 4 aus 5 Eingangssignalen.

Die Funktionen jeder der beiden Schaltungen sind einmal in den zugeordneten Funktionstabellen, Tabelle 5/23 und 5/25, und zum andern Mal in den entsprechenden Funktionsgleichungen, Tabelle 5/24 und 5/26, eindeutig beschrieben.

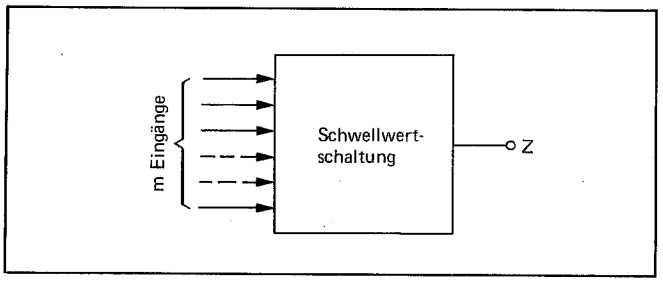


Bild 5/39. Blockbild „Schwellwertschaltung".

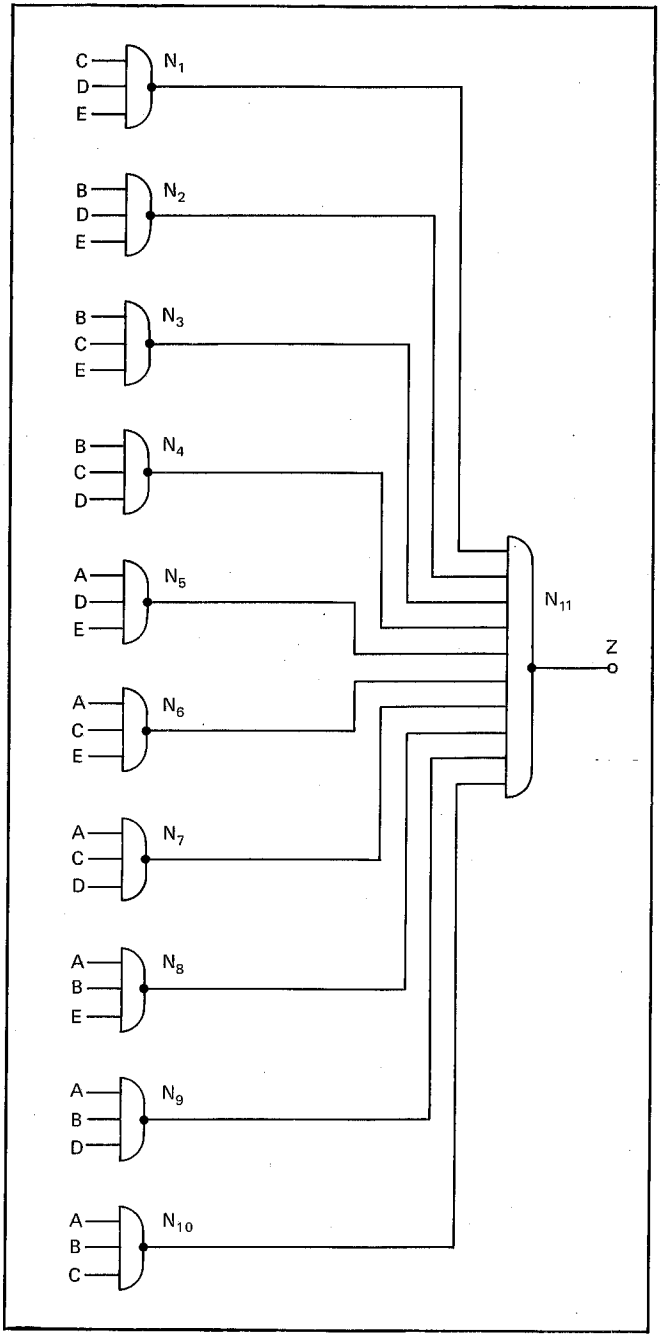


Bild 5/40. 3-aus-5-Auswahlschaltung.

Tabelle 5/23. Funktionstabelle zu Bild 5/40.

A	B	C	D	E	Z	
0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	L	0	
0	0	0	L	0	0	
0	0	0	L	L	0	
0	0	L	0	0	0	
0	0	L	0	L	0	
0	0	L	L	0	0	
0	0	L	L	L	L	U_1
0	L	0	0	0	0	
0	L	0	0	L	0	
0	L	0	L	0	0	
0	L	0	L	L	L	U_2
0	L	L	0	0	0	
0	L	L	0	L	L	U_3
0	L	L	L	0	L	U_4
0	L	L	L	L	L	
L	0	0	0	0	0	
L	0	0	0	L	0	
L	0	0	L	0	0	
L	0	0	L	L	L	U_5
L	0	L	0	0	0	
L	0	L	0	L	L	U_6
L	0	L	L	0	L	U_7
L	0	L	L	L	L	
L	L	0	0	0	0	
L	L	0	0	L	L	U_8
L	L	0	L	0	L	U_9
L	L	0	L	L	L	
L	L	L	0	0	L	U_{10}
L	L	L	0	L	L	
L	L	L	L	0	L	
L	L	L	L	L	L	

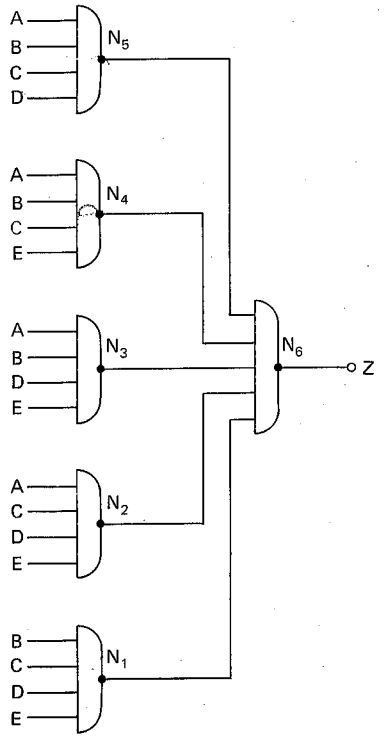


Bild 5/41. 4-aus-5-Auswahlschaltung.

Tabelle 5/24. Funktionsgleichungen zur 3-aus-5-Schwellwertbildung.

$Z = U_1 \vee U_2 \vee U_3 \vee U_4 \vee U_5 \vee U_6 \vee U_7 \vee U_8 \vee U_9 \vee U_{10}$ 3-aus-5-Schwellwert

$Z = (C \wedge D \wedge E) \vee (B \wedge D \wedge E) \vee (B \wedge C \wedge E) \vee (B \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge D \wedge E) \vee (A \wedge C \wedge E) \vee (A \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge E) \vee (A \wedge B \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge C)$

$Z = \overline{U_1} \wedge \overline{U_2} \wedge \overline{U_3} \wedge \overline{U_4} \wedge \overline{U_5} \wedge \overline{U_6} \wedge \overline{U_7} \wedge \overline{U_8} \wedge \overline{U_9} \wedge \overline{U_{10}}$

$N_1 = \overline{U_1}$ $N_2 = \overline{U_2}$ etc.

$$Z = \overline{N_1 \wedge N_2 \wedge N_3 \wedge N_4 \wedge N_5 \wedge N_6 \wedge N_7 \wedge N_8 \wedge N_9 \wedge N_{10}}$$

Die in Tabelle 5/23 eingerahmten Signalkombination werden von U_1 bis U_{10} miterfaßt!

Tabelle 5/25. Funktionstabelle zu Bild 5/41.

A	B	C	D	E	Z	
0	0	0	0	0	0	4-aus-5-Schwellwert
0	0	0	0	L	0	
0	0	0	L	0	0	
0	0	0	L	L	0	
0	0	L	0	0	0	
0	0	L	0	L	0	
0	0	L	L	0	0	
0	0	L	L	L	0	
0	L	0	0	0	0	
0	L	0	0	L	0	
0	L	0	L	0	0	
0	L	0	L	L	0	
0	L	L	0	0	0	
0	L	L	0	L	0	
0	L	L	L	0	0	
0	L	L	L	L	L	U_1
L	0	0	0	0	0	
L	0	0	0	L	0	
L	0	0	L	0	0	
L	0	0	L	L	0	
L	0	L	0	0	0	
L	0	L	0	L	0	
L	0	L	L	0	0	
L	0	L	L	L	L	U_2
L	L	0	0	0	0	
L	L	0	0	L	0	
L	L	0	L	0	0	
L	L	0	L	L	L	U_3
L	L	L	0	0	0	
L	L	L	0	L	L	U_4
L	L	L	L	0	L	U_5
L	L	L	L	L	L	

Tabelle 5/26. Funktionsgleichungen zur 4-aus-5-Schwellwertbildung.

4-aus-5-Schwellwert

$Z = U_1 \vee U_2 \vee U_3 \vee U_4 \vee U_5$

$Z = (B \wedge C \wedge D \wedge E) \vee (A \wedge C \wedge D \wedge E) \vee (A \wedge B \wedge D \wedge E) \vee (A \wedge B \wedge C \wedge E) \vee (A \wedge B \wedge C \wedge D)$

$Z = \overline{\overline{U_1} \wedge \overline{U_2} \wedge \overline{U_3} \wedge \overline{U_4} \wedge \overline{U_5}}$

Die in Tabelle 5/25 eingerahmte Signalkombination wird von U_1 bis U_5 miterfaßt!

$N_1 = \overline{U_1}$ etc.

$$Z = \overline{N_1 \wedge N_2 \wedge N_3 \wedge N_4 \wedge N_5}$$

Zwei binär-codierte Informationen werden miteinander verglichen

In der Praxis der Digitaltechnik treten Schaltungsprobleme auf, bei denen zwei vorgegebene Codeworte auf Identität hin zu überprüfen sind. Ein solcher Problemfall liegt z. B. dann vor, wenn zwei binär-codierte Informationen *A* und *B* auf gleiche Aussage, auf Identität hin zu überwachen sind.

Zum Zwecke des Informationsvergleichs wird jedes der beiden Codeworte *A* und *B* in ein eigenes Register *A* und *B* eingespeist, Bild 5/42. In unserem Beispiel sei dabei angenommen, daß das Codewort *A* aus den Stellen A_1, A_2, A_3, A_4 und das Codewort *B* aus den Stellen B_1, B_2, B_3, B_4 besteht.

Zur Feststellung der Identität der beiden Codeworte muß die Identität jeder einzelnen Stelle der Codeworte überprüft werden. Diese wiederum liegt nur dann vor, wenn beide vergleichbaren Stellen (z. B. A_1–B_1, A_2–B_2 usw.) entweder den Zustand 0 oder den Zustand L führen. Die beiden binär-codierten Informationen *A* und *B* wiederum sind nur dann gleich, wenn für jede der einzelnen Stellen Identität vorliegt.

Bild 5/43 zeigt die Vergleichsschaltung in NAND-Technik.

Während mit Hilfe der NAND-Gatter N_1 bis N_8 die Stellenidentitäten überwacht werden, fassen die NAND-Gatter N_9 und N_{10} die Ergebnisse der Teilüberprüfungen zu einer Gesamtaussage zusammen. Liegt Identität in allen Codestellen der Codeworte *A* und *B* vor, so führen alle NAND-Gliederausgänge N_1 bis N_8 jeweils L-Signal. Die Gleichheit der Codeworte *A* und *B* wird am Ausgang Z der Schaltung mit L-Signal angezeigt.

Wer sich ausführlich mit der Entwicklung der Vergleichsschaltung nach Bild 5/43 auseinandersetzen will, betrachte Tabelle 5/27. Die hier gezeigten logischen Zusammenhänge gelten gleichermaßen für jede der einzelnen Stellen der Codeworte. Es kann $n = 1$, $n = 2$ usw. sein.

Von diesem logischen Ansatz führen die De Morgansche Regel und die allgemeinen Logikgesetze zum endgültigen Ausdruck nach Tabelle 5/28. Beachten Sie, daß Identität der beiden Codeworte nur dann vorliegt, wenn alle Stellen der Codeworte identisch sind.

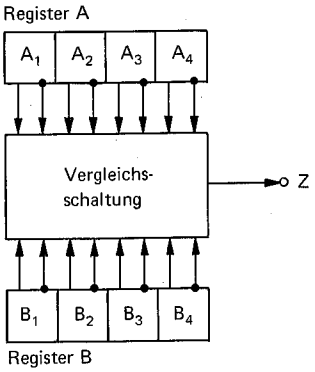


Bild 5/42. Prinzip des Vergleichs zweier vierstelliger Register.

Tabelle 5/27. Logikansatz zum Stellenvergleich zweier Codeworte.

A_n	B_n	Z_n
0	0	L
0	L	0
L	0	0
L	L	L

$$Z_n = (A_n \wedge B_n) \vee (\overline{A}_n \wedge \overline{B}_n)$$

$$Z_n = \overline{(\overline{A}_n \wedge B_n) \vee (A_n \wedge \overline{B}_n)}$$

$$Z_n = \overline{(\overline{A}_n \wedge B_n)} \wedge \overline{(A_n \wedge \overline{B}_n)}$$

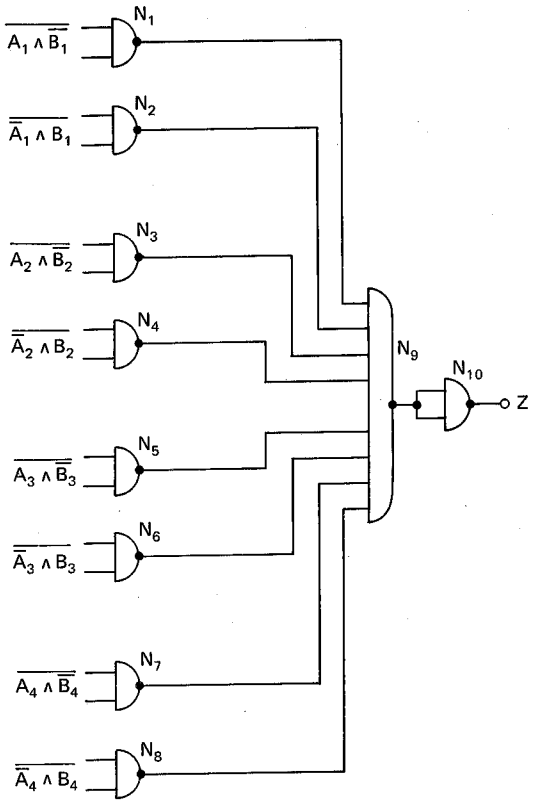


Bild 5/43. Schaltung zum Vergleich zweier vierstelliger Register in NAND-Technik.

Tabelle 5/28. Logikgleichungen nach Schaltung in Bild 5/43.

$$Z = \overline{\overline{(\overline{A}_1 \wedge B_1)} \wedge \overline{(A_1 \wedge \overline{B}_1)}} \wedge \overline{\overline{(\overline{A}_2 \wedge B_2)} \wedge \overline{(A_2 \wedge \overline{B}_2)}} \wedge \overline{\overline{(\overline{A}_3 \wedge B_3)} \wedge \overline{(A_3 \wedge \overline{B}_3)}} \wedge \overline{\overline{(\overline{A}_4 \wedge B_4)} \wedge \overline{(A_4 \wedge \overline{B}_4)}}$$

$$Z = \overline{(\overline{A}_1 \wedge B_1)} \wedge \overline{(A_1 \wedge \overline{B}_1)} \wedge \overline{(\overline{A}_2 \wedge B_2)} \wedge \overline{(A_2 \wedge \overline{B}_2)} \wedge \overline{(\overline{A}_3 \wedge B_3)} \wedge \overline{(A_3 \wedge \overline{B}_3)} \wedge \overline{(\overline{A}_4 \wedge B_4)} \wedge \overline{(A_4 \wedge \overline{B}_4)}$$

$$Z = \overline{\overline{(\overline{A}_1 \wedge B_1)} \wedge \overline{(A_1 \wedge \overline{B}_1)} \wedge \overline{(\overline{A}_2 \wedge B_2)} \wedge \overline{(A_2 \wedge \overline{B}_2)} \wedge \overline{(\overline{A}_3 \wedge B_3)} \wedge \overline{(A_3 \wedge \overline{B}_3)} \wedge \overline{(\overline{A}_4 \wedge B_4)} \wedge \overline{(A_4 \wedge \overline{B}_4)}}$$

$$Z = \overline{N_1 \wedge N_2 \wedge N_3 \wedge N_4 \wedge N_5 \wedge N_6 \wedge N_7 \wedge N_8}$$

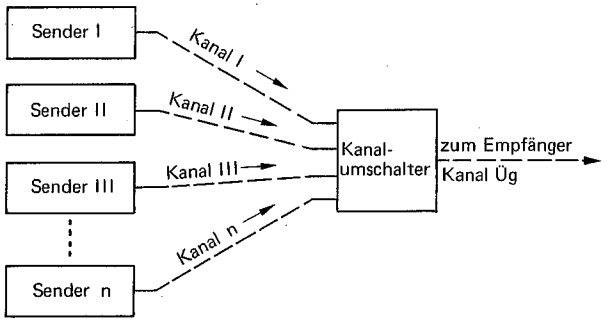


Bild 5/44. Blockbild zur seriellen Übertragung mehrerer Informationen.

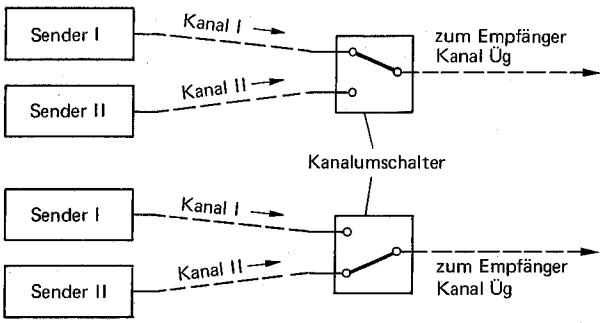


Bild 5/45. Prinzip der Kanalumschaltung.

Elektronische Informationsweichen in NAND-Technik

Bekanntermaßen ist die digitale Informationsübertragung sehr sicher und wirtschaftlich. Besonders günstige Anlage- und Betriebskosten ergeben sich hierbei nach dem Prinzip der seriellen Übertragung. Bei diesem Verfahren, das in Bild 5/44 im Blockbild dargestellt wird, werden mehrere Informationen, die von verschiedenen Informationsquellen kommen, zeitlich nacheinander über einen einzigen Übertragungskanal $Ü_G$ zum Empfänger geschickt.

Zur Realisierung dieser seriellen Übertragung müssen, nach einem der jeweiligen Anlage entsprechenden zeitlichen Ablauf, sog. Kanalumschaltungen, vorgenommen werden.

In Bild 5/45 wird das Prinzip der Kanalumschaltung vorgestellt. Während im oberen Teil des Bildes die auf Kanal I kommende Information durchgeschaltet wird, wird im unteren Teil des Bildes die Information II (auf Kanal II) über den Übertragungskanal $Ü_G$ zum Empfänger geschickt.

Bild 5/46 gibt den inneren Aufbau eines elektronischen Umschalters wieder, mit dem der serielle Betrieb zweier Informationskanäle I und II geschaltet werden kann. Steht z. B. der Kanal-Wahlschalter auf L-Signal, so wird das UND-Glied U_2 über die Negation N gesperrt, das UND-Glied U_1 dagegen vorbereitet. Die auf Kanal I auflaufende Information wird über das ODER-Glied 0 auf den Übertragungskanal $Ü_G$ zum Empfänger geschickt.

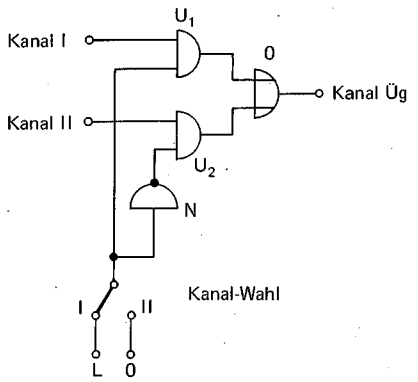


Bild 5/46. Kanalumschalter für 2 Kanäle in UND/ODER/NICHT-Technik.

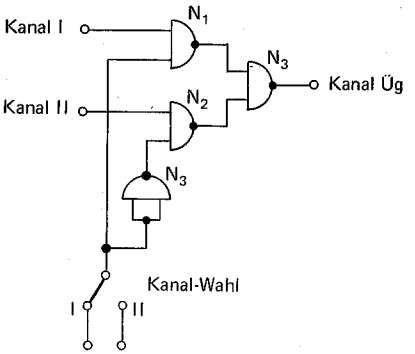


Bild 5/47. Kanalumschalter für 2 Kanäle in NAND-Technik.

Tabelle 5/29. 1-aus-10-Code, 8-4-2-1-Code.

Dezimal-Ziffer	1-aus-10-Code										8 – 4 – 2 – 1 – Code			
	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	A_0	2^3 B_3	2^2 B_2	2^1 B_1	2^0 B_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0	L
2	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0	L	0
3	0	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0	0	L	L
4	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0	0	L	0	0
5	0	0	0	0	L	0	0	0	0	0	0	L	0	L
6	0	0	0	L	0	0	0	0	0	0	0	L	L	0
7	0	0	L	0	0	0	0	0	0	0	0	L	L	L
8	0	L	0	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	0
9	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	L

Elektronische Code-Umsetzer-Schaltung in NOR- bzw. NAND-Technik

Bereits in Kapitel I dieses Buches wurde auf die Notwendigkeit von Codesystemen hingewiesen und es wurden mehrere Codes vorgestellt. In der digitaltechnischen Praxis muß dem jeweiligen Problemfall entsprechend dem einen oder anderen Code der Vorzug gegeben werden. Wegen der häufig anlagetechnisch bedingten Abfolge der einzelnen informationstechnischen Probleme (so kann z. B. einer Signalübertragung die Signalverarbeitung folgen) kann sich hieraus die Notwendigkeit zu Codeumsetzungen ergeben.

Solche Codeumsetzungen lassen sich mit Hilfe digitaler Schaltungen durchführen. Aus der Vielzahl der entwickelten und gebräuchlichen Code-Umsetzer-Schaltungen werden in diesem Kapitel zwei relativ leicht verständliche Beispiele vorgestellt. Anhand dieser Schaltungen soll gezeigt werden, auf welche Weise die verbreiteten NOR- und NAND-Glieder auch zum Zwecke der Umcodierung eingesetzt werden können.

Im Beispiel 1 wird eine Umsetzerschaltung zur Umsetzung des 1-aus-10-Codes in den 8-4-2-1-Code behandelt.

Im 1-aus-10-Code werden die Ziffern 0 bis 9 einer Dezimalstelle durch je eine L-Stelle repräsentiert, Tabelle 5/29 links. Will man eine vorgegebene Dezimalzahl, z. B. die Dezimalzahl „5", die im 1-aus-10-Code in der Stelle A_5 mit L-Signal dargestellt wird, auf logischem Wege in den 8-4-2-1-Code umsetzen, so muß sie durch die entsprechenden L-Stellen des 8-4-2-1-Codes repräsentiert werden. Für die Zahl „5" wären das die Stellen B_0 und B_2.

Tabelle 5/29 gibt die vollständige Zuordnung der L-Stellen des 8-4-2-1-Codes zu den entsprechenden L-Stellen des 1-aus-10-Codes für alle Dezimalzahlen von 0 bis 9 wieder.

Übung 5/9

Bild 5/47 zeigt den Aufbau des in Bild 5/46 vorgestellten Kanalumschalters in NAND-Technik. Ergänzen Sie die Beschaltung des Kanal-Wahlschalters mit 0 und L derart, daß die durchgeschalteten Kanäle den Positionsangaben des Schalters entsprechen.

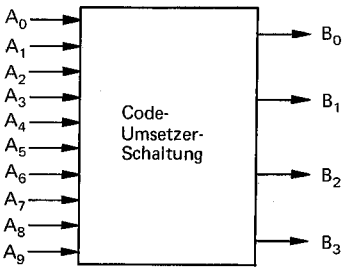


Bild 5/48. Blockbild des Codeumsetzers „1-aus-10-Code/8-4-2-1-Code".

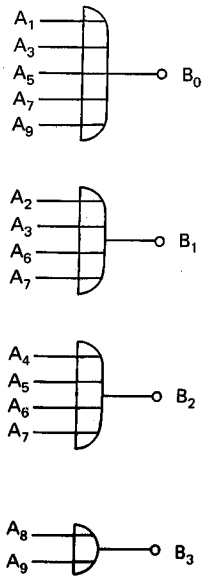


Bild 5/49. Codeumsetzer „1-aus-10-Code/8-4-2-1-Code".

Geht man von Tabelle 5/29 aus, so wird in Verbindung mit Bild 5/48 das Prinzip der Code-Umsetzer-Schaltungen erkennbar. Die L-Stellen des 1-aus-10-Codewortes werden über die 10 Leitungen A_0 bis A_9 in die Code-Umsetzer-Schaltung eingegeben. Hier werden durch logische Verknüpfungen die entsprechenden L-Stellen des 8-4-2-1-Codewortes gebildet und die zugehörigen Ausgangsleitungen B_0 bis B_3 ausgegeben.

Tabelle 5/30. Logikansatz zu Bild 5/49 und Bild 5/50.

$$B_0 = A_1 \vee A_3 \vee A_5 \vee A_7 \vee A_9$$

$$B_1 = A_2 \vee A_3 \vee A_6 \vee A_7$$

$$B_2 = A_4 \vee A_5 \vee A_6 \vee A_7$$

$$B_3 = A_8 \vee A_9$$

Nach Anwendung der de Morgan'schen Regel ergibt sich die Umordner-Schaltung in NAND-Technik

$$B_0 = \overline{\overline{A_1} \wedge \overline{A_3} \wedge \overline{A_5} \wedge \overline{A_7} \wedge \overline{A_9}}$$

$$B_1 = \overline{\overline{A_2} \wedge \overline{A_3} \wedge \overline{A_6} \wedge \overline{A_7}}$$

$$B_2 = \overline{\overline{A_4} \wedge \overline{A_5} \wedge \overline{A_6} \wedge \overline{A_7}}$$

$$B_3 = \overline{\overline{A_8} \wedge \overline{A_9}}$$

In Bild 5/49 wird die vollständige Code-Umsetzer-Schaltung vorgestellt. Ihr entsprechen die Funktionsgleichungen nach Tabelle 5/30 oben. Diese Funktionsgleichungen wurden nach der in Tabelle 5/29 zusammengefaßten logischen Zuordnungen der beiden Codes ermittelt.

Aus den gegebenen Funktionsgleichungen läßt sich unter Anwendung der De Morganschen Regel die entsprechende Schaltung in NAND-Technik entwickeln, Tabelle 5/30 und Bild 5/50.

In Beispiel 2 wird die Codeumsetzung vom 8-4-2-1-Code in den 1-aus-10-Code vorgestellt, Bild 5/51. Diese Umordnung wird z. B. notwendig, wenn wegen der besseren und sichereren Lesbarkeit der Inhalt eines BCD-Zählers in das Dezimale Zahlensystem erfolgen soll (s. a. Kapitel 10).

Die der Umordnerschaltung zugrunde liegenden logischen Zusammenhänge werden durch die nach Tabelle 5/31a entwickelten Logikgleichungen eindeutig beschrieben*) (Tabelle 5/31b).

In Bild 5/52 wird die Umsetzerschaltung in NOR-Technik wiedergegeben. Die entsprechenden logischen Umformungen der Ausgangsgleichungen nach Tabelle 5/31b finden Sie in Tabelle 5/31c und d niedergelegt.

*) Für den Fall, daß Ihnen als Leser das Verständnis der Arbeitsweise von Zählern – etwa wegen mangelnder Erfahrung aus der technischen Praxis – Schwierigkeit bereitet: Wir kommen an späterer Stelle auf diese Zusammenhänge zurück (Kap. 9 und 10).

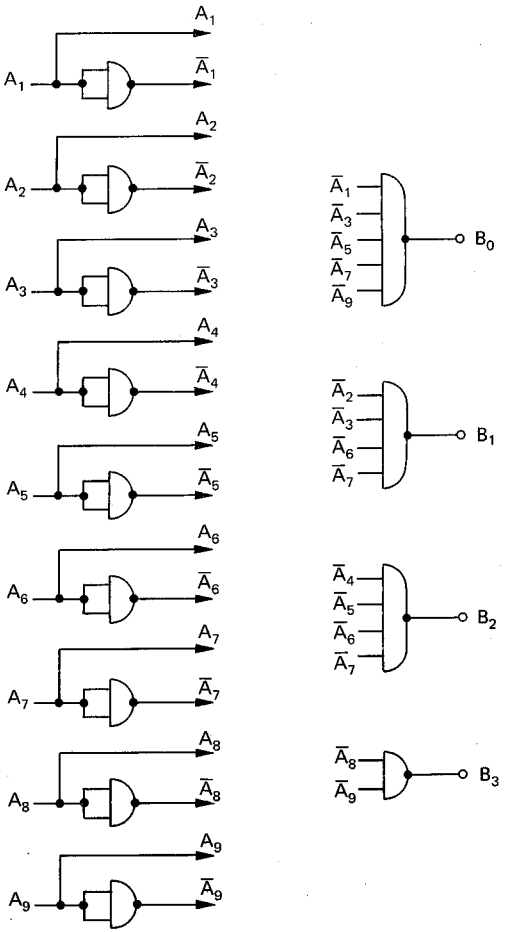


Bild 5/50. Codeumsetzer „1-aus-10-Code/8-4-2-1-Code" in NAND-Technik.

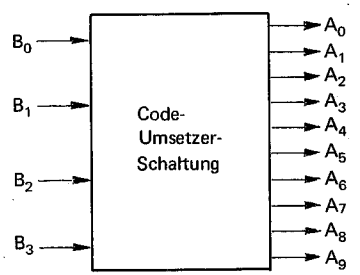


Bild 5/51. Blockbild des Codeumsetzers „8-4-2-1-Code/1-aus-10-Code".

Tabelle 5/31. Funktionstabelle und Logikschaltung zu Bild 5/52.

a)

	2^3	2^2	2^1	2^0	
	B_3	B_2	B_1	B_0	
0	0	0	0	0	U_0
1	0	0	0	L	U_1
2	0	0	L	0	U_2
3	0	0	L	L	U_3
4	0	L	0	0	U_4
5	0	L	0	L	U_5
6	0	L	L	0	U_6
7	0	L	L	L	U_7
8	L	0	0	0	U_8
9	L	0	0	L	U_9

b)

$$U_0 = \bar{B}_3 \wedge \bar{B}_2 \wedge \bar{B}_1 \wedge \bar{B}_0$$
$$U_1 = \bar{B}_3 \wedge \bar{B}_2 \wedge \bar{B}_1 \wedge B_0$$
$$U_2 = \bar{B}_3 \wedge \bar{B}_2 \wedge B_1 \wedge \bar{B}_0$$
$$\vdots$$
$$U_9 = B_3 \wedge \bar{B}_2 \wedge \bar{B}_1 \wedge B_0$$

c)

nach de Morgan wird aus

$$U_0 \longrightarrow N_0 \quad (U_0 = N_0)$$
$$U_1 \longrightarrow N_1 \quad (U_1 = N_1)$$
$$U_2 \longrightarrow N_2 \quad (U_2 = N_2)$$
$$\vdots$$
$$U_9 \longrightarrow N_9 \quad (U_9 = N_9)$$

d)

$$N_0 = \overline{B_3 \vee B_2 \vee B_1 \vee B_0}$$
$$N_1 = \overline{B_3 \vee B_2 \vee B_1 \vee \bar{B}_0}$$
$$N_2 = \overline{B_3 \vee B_2 \vee \bar{B}_1 \vee B_0}$$
$$\vdots$$
$$N_9 = \overline{\bar{B}_3 \vee B_2 \vee B_1 \vee \bar{B}_0}$$

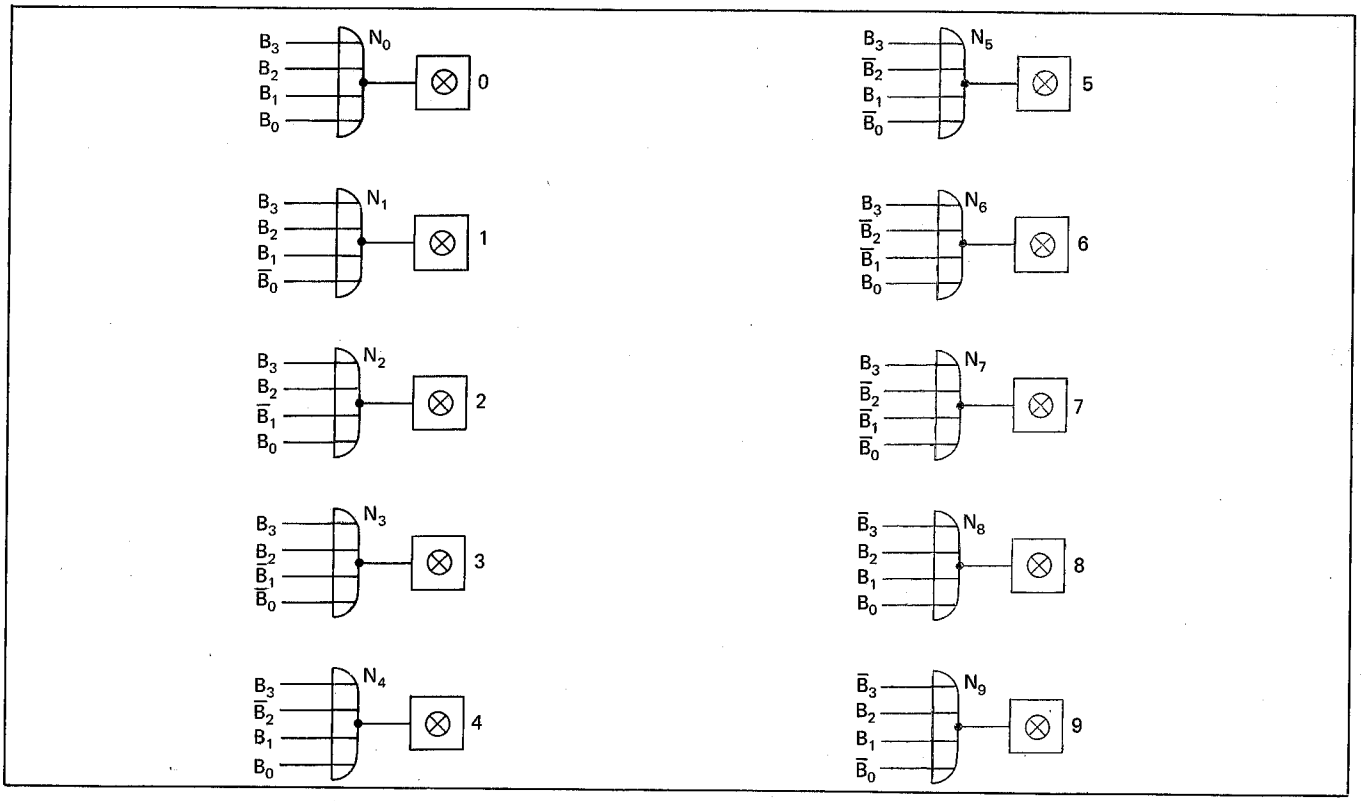


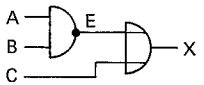
Bild 5/52. Codeumsetzerschaltung „8-4-2-1-Code/1-aus-10-Code" in NOR-Technik.

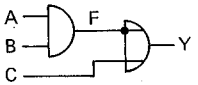
Anmerkung zu den folgenden Übungen

Sie haben in Kap. 5 NAND und NOR als universelle Digitalbausteine kennengelernt und gesehen, wie man Logikpläne rechnerisch darauf umstellt. Eine solche Umstellung kann man auch systematisch ohne Rechnung unmittelbar am Logikplan selbst auf Grund von vier einprägsamen Regeln vornehmen. Im wesentlichen geht es um ein Jonglieren mit Negationspunkten, eine schematische Umstellung auf die NOR- bzw. NAND-Technik ohne Mathematik. Die Spielregeln wollen wir durch Versuche ermitteln.

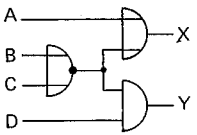
Übung 5/10 **Formale Übung**

a) Stellen Sie für *X* und *Y* aus folgenden Logikplänen die Funktionsgleichung in Abhängigkeit von *A, B, C* auf. Vergleichen Sie die Ergebnisse miteinander.





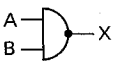
b) Formen Sie den folgenden Logikplan durch Verschieben des Negationspunktes auf die nachfolgenden Eingänge um.

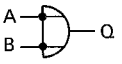


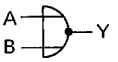
c) Ergänzen Sie in Anlehnung an Übung 5/10 b) den folgenden Satz vom *„Leitungsritt"*:
Die Funktion eines Logikplans ändert sich nicht, wenn man einen ..... auf einer ..... von einem Gatterausgang auf ..... nachfolgenden Eingänge verschiebt.

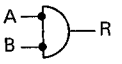
Übung 5/11 **Formale Übung**

a) Welche der folgenden logischen Schaltungen haben die gleiche Funktion? Begründung?





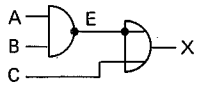




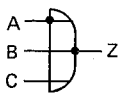
b) Ergänzen Sie in Anlehnung an Übung 5/11 a) den folgenden Satz vom *Gattersturz*:
Liegt auf dem Ausgang eines Gatters ein ....., so kann man ihn durch ..... solchen auf ..... Eingängen ersetzen, wenn man gleichzeitig das Gatter stürzt, d. h. ..... gegen ..... bzw. umgekehrt vertauscht. Die logische Funktion bleibt dabei dieselbe.

Übung 5/12 **Formale Übung**

a) In der folgenden Schaltung soll der am Ausgang des linken Gatters liegende Negationspunkt durch einen *Leitungsritt* nach rechts verschoben werden. Welche neue Schaltung gleicher Funktion erhält man? Rechnen Sie nach.



b) Führen Sie in folgender Schaltung einen *Gattersturz* aus. Welche neue Schaltung erhält man? Rechnen Sie nach!

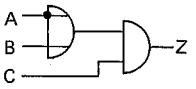


c) Auf Grund der Übungen 5/12 a) und b) läßt sich die folgende Regel vom *Todespaar* formulieren: Setzen Sie die fehlenden Wörter ein:
Treffen zwei . . . . . auf Grund eines Leitungsrittes oder eines Gattersturzes zusammen, so . . . . . .

Übung 5/13 **Formale Übung**

Der Satz vom Todespaar in Übung 5/12 c) läßt sich umkehren in die Regel von der *Paargeburt*:
An jedem Gatterausgang kann man gleichzeitig zwei Negationspunkte generieren, von denen einer verbleibt, der andere durch Leitungsritt oder Gattersturz an andere Stelle(n) gebracht wird. Die Funktion der Schaltung ändert sich dabei nicht.

a) Wenden Sie die Regel von der *Paargeburt* auf den Ausgang des rechten Gatters in folgender Schaltung an. Welche neue Schaltung erhalten Sie?



b) Welche beiden Umformungen können Sie aus der Schaltung in Übung 5/13 a) erhalten, wenn Sie die Regel von der Paargeburt auf den Ausgang des linken Gatters anwenden?

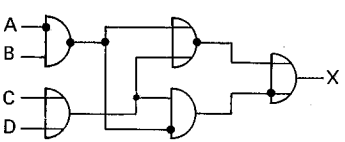
Übung 5/14 **Formale Übung**

Systematische Umstellung auf NOR.

Auf Grund der vier Regeln Leitungsritt, Gattersturz, Todespaar und Paargeburt läßt sich jeder Logikplan ohne jede Rechnung auf ausschließliches Vorkommen von NOR umstellen. Der umzustellende Logikplan kann wahlweise zunächst folgende Stufen enthalten: UND, ODER, NOR, NAND. Negierte Eingänge können ebenfalls vorkommen. Die Umstellung erfolgt in folgenden Schritten:

1. Alle NAND werden einem Gattersturz unterzogen.
2. An allen ODER-Stufen – einschließlich frühere NAND – wird eine Paargeburt mit Leitungsritt ausgeführt. Sollte dabei ein Negationspunkt an einen Ausgang der Gesamtschaltung gelangen, wird dort eine Negatorstufe angefügt.
3. An allen UND-Stufen wird eine Paargeburt mit Gattersturz ausgeführt.
4. An allen negierten Eingängen von NOR-Gliedern wird eine Negatorstufe vorgeschaltet.

Formen Sie die folgende Schaltung gemäß 1. bis 4. so um, daß nur noch NOR-Glieder enthalten sind. Sehen Sie den Lösungsteil nach jedem Schritt ein.



Übung 5/15 **Formale Übung**

Systematische Umstellung auf NAND.

Vertauscht man in dem in Übung 5/14 beschriebenen Verfahren überall gegenseitig NAND und NOR sowie UND und ODER, so erhält man das Rezept für die konsequente Umstellung auf NAND. Formulieren Sie dieses Verfahren.

Übung 5/16 **Formale Übung**

Systematische Umstellung auf NAND.

Stellen Sie den Logikplan von Übung 5/14 gemäß dem Verfahren aus Übung 5/15 systematisch auf NAND um.

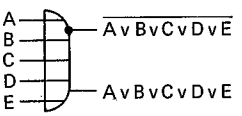
Übung 5/17 **Verständnisübung**

a) Jede logische Funktionsgleichung ist ursprünglich mittels Negation, UND und ODER aufgebaut. Wieso kann man jeden logischen Formelausdruck so umschreiben, daß nur noch NAND oder nur noch NOR vorkommt?

b) Geben Sie die drei logischen Formeln aus Bild 2/27 (Kap. 2) an, die für die Umstellung auf NOR oder NAND am wichtigsten sind.

c) Elektronische NAND- und NOR-Schaltungen enthalten immer Transistoren und haben daher zusätzlich zu ihrer logischen Funktion Verstärkercharakter. Sehen Sie einen Zusammenhang mit ihrer im Vergleich zu Diodenschaltungen weiteren Verbreitung?

d) Ein weit verbreiteter Baustein hat zwei Ausgänge, von denen einer die ODER-, der andere die NOR-Verknüpfung der Eingänge darstellt:



Welcher der vier Umstellungsschritte aus Übung 5/14 wird nicht mehr benötigt, wenn ein Logikplan vollständig und ausschließlich mit solchen Bausteinen realisiert werden soll?

6. Flip-Flop: Signale werden gespeichert

In vielen Bereichen der Technik besteht die Notwendigkeit, auftretende Signale aufzunehmen und zu speichern. Sie sind dann jederzeit verfügbar, so lange vom Betriebsablauf der Anlage her Bedarf dafür besteht.

Ein bekanntes Beispiel für derartige Signalspeicherungen liefert die Aufzuganlage, Bild 6/1. Was hat der Benutzer einer solchen Anlage zu tun, der sich beispielsweise auf der vierten Büroetage eines vielstöckigen Hochhauses befindet und von dort zur Tiefgarage gelangen möchte?

Er wird auf die Aufzugtür zugehen und durch Tastendruck die gewünschte Fahrtrichtung wählen. Auf diesen Knopfdruck des Benutzers hin speichert die Steuerelektronik den eingegebenen Befehl und schickt – bei Großanlagen – aus dem Angebot mehrerer Aufzüge ausgewählt, denjenigen zu der vierten Etage, der sich ihr am nächsten befindet.

Nachdem der Aufzug die einprogrammierte vierte Etage erreicht hat, wird der vom Benutzer eingegebene Befehl automatisch gelöscht. Nunmehr nimmt die Steuerelektronik den neuen Befehl „Fahre zur Tiefgarage" auf. Auch dieser Befehl wird als binäres Signal durch Tastendruck eingegeben und von der Steuerelektronik solange gespeichert, bis er letztlich präzise ausgeführt worden ist.

Auch im Haushalt hat man es häufig mit Speicherelementen zu tun. Man denke nur an die Programmwahleinheit (Sensor) eines Fernsehgerätes, Bild 6/2. Hier gibt man z.B. durch Tastenberührung das gewünschte Programm ein. Dieser Tastvorgang stellt für den Fernsehapparat einen gezielten Befehl in Form eines binären Signales dar, der solange gespeichert wird, bis er durch einen neuen, anderslautenden Befehl abgelöst wird.

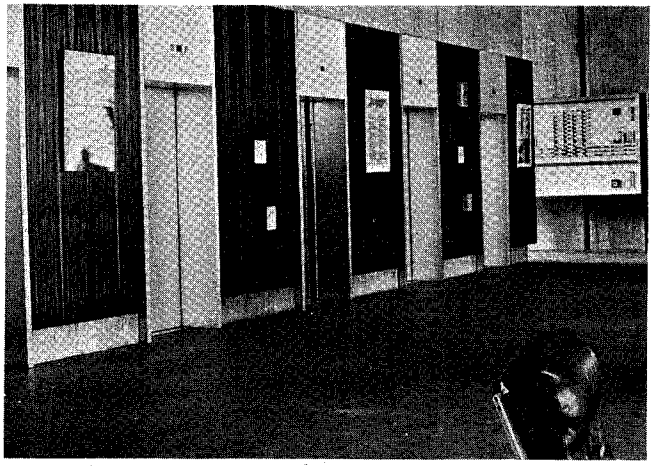


Bild 6/1. Bei einer Aufzugsanlage werden die Schaltbefehle binär-digital gespeichert.

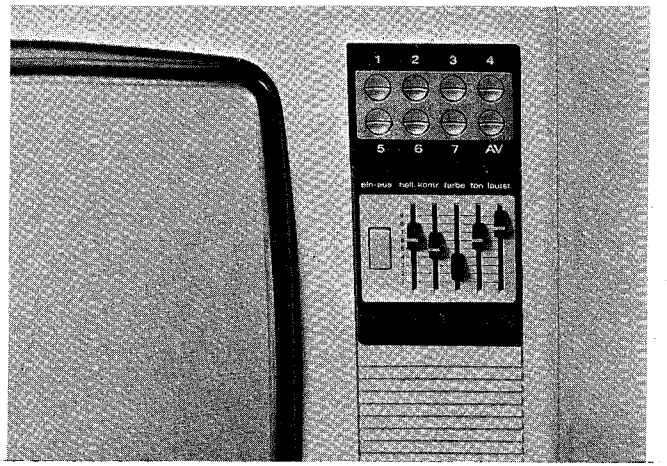


Bild 6/2. Fernsehgerät mit Sensortasten.
Hier geschieht die Speicherung der Programmwahl vollelektronisch.

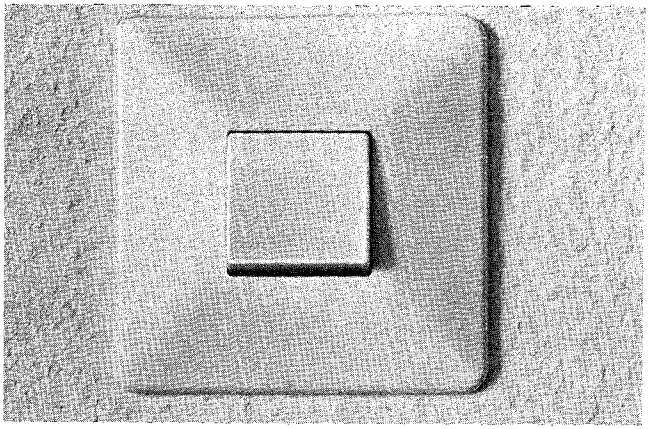


Bild 6/3. Auch der Wippschalter ist ein binär-digitales Speicherelement.

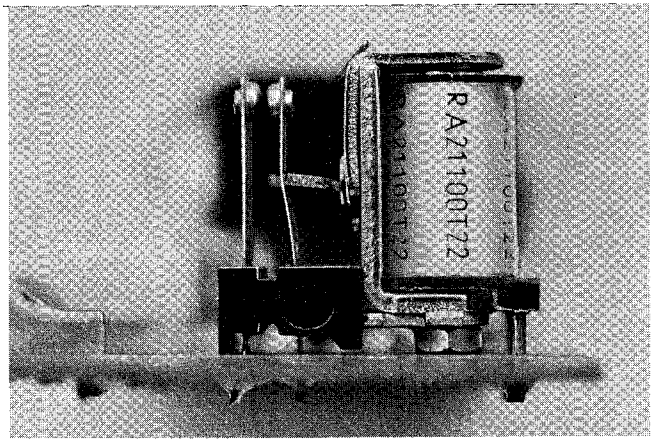


Bild 6/4. Das elektromagnetische Relais – ein bewährtes Speicherelement.

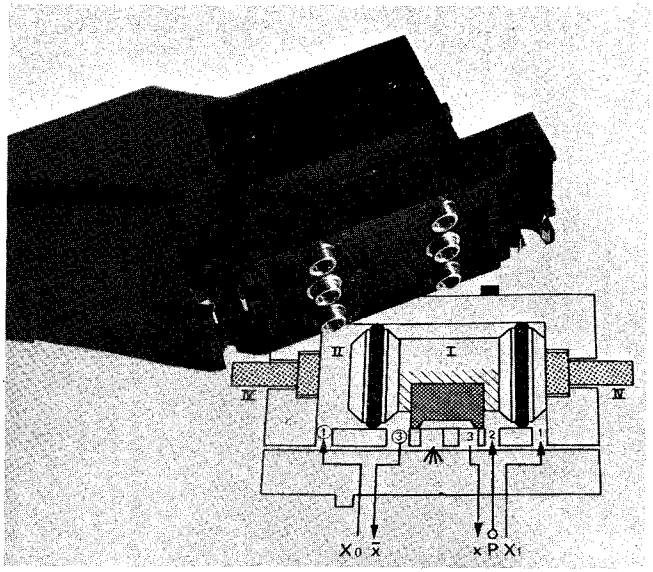


Bild 6/5. Beispiel eines pneumatischen Speicherelementes.

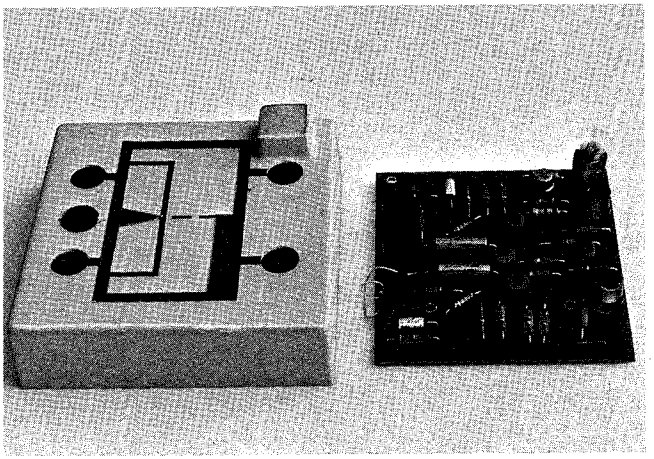


Bild 6/6. Elektronisches Speicherelement in diskreter Technik (Baustein eines Lehrsystems).

So verschiedenartig die physikalische Natur der digitalen Signale sein kann, die in technischen Anlagen zu speichern sind, so verschiedenartig können dementsprechend auch die Signalspeicher selbst aufgebaut sein. Einige technische Realisierungen sind in Bild 6/3 bis 6/9 wiedergegeben.

Neben mechanischen Speichern, hydraulischen und pneumatischen Speichern haben sich in den vergangenen Jahrzehnten besonders die elektromagnetischen Systeme bewährt. In den letzten Jahren machen allerdings die elektronischen Speichersysteme von sich reden. Dies ist nicht einmal verwunderlich, da die Vorzüge der Digitaltechnik doch gerade in der elektronischen Realisierung der Digitalglieder besonders eindrucksvoll demonstriert werden können.

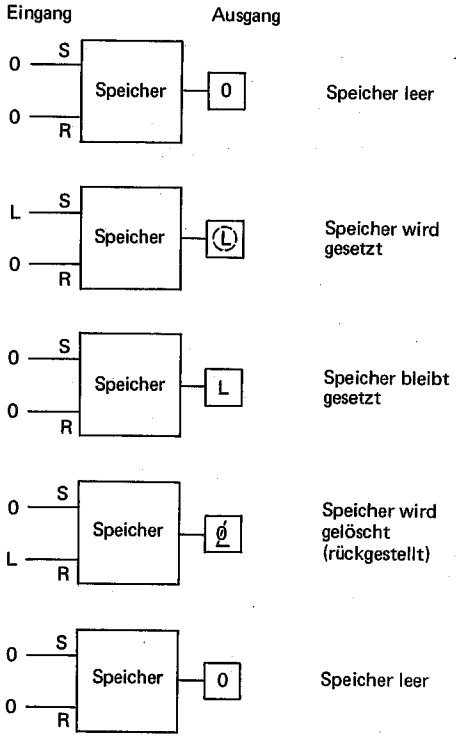


Bild 6/7. Allgemeine Arbeitsweise eines binären Speicherelementes.
Es werden die Funktionen „Setzen", „Speichern" und „Rückstellen" unterschieden.

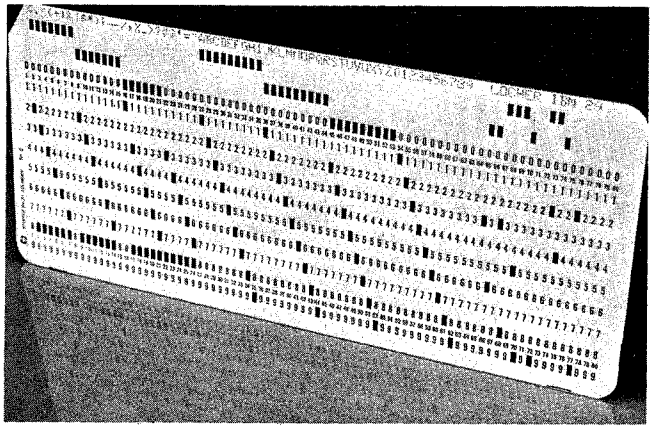


Bild 6/8. Auch die Lochkarte dient als Speicherelement für binär-digitale Signale.

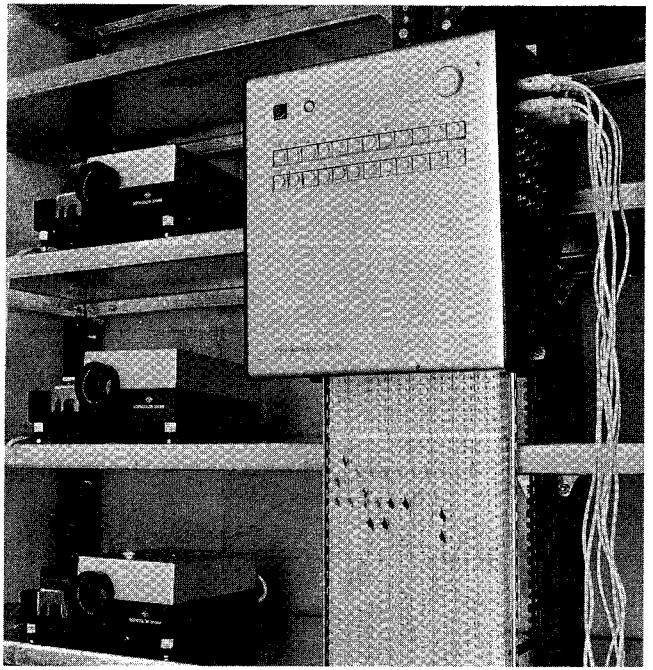


Bild 6/9. Nockenspeicher einer Dia-Projektionseinrichtung, mit deren Hilfe die Reihenfolge in der Dia-Projektion gesteuert werden kann.

Die allgemeine Arbeitsweise von Signalspeichern für binäre Signale

Sollen binäre Signale gespeichert werden, so ergeben sich besondere funktionelle Anforderungen, die an technische Speicherelemente zu stellen sind. Alle binär arbeitenden Speicher müssen in der Lage sein, ein binäres Signal aufzunehmen und dieses aufgenommene binäre Signal auch dann noch zu behalten (speichern), wenn das auslösende Signal selbst bereits wieder verschwunden ist.

Bei den meisten der in der Digitaltechnik eingesetzten Speichern wird als zusätzliche Forderung verlangt, daß sie durch einen Lösch- oder Rückstellbefehl wieder zurückgestellt werden können.

Übung 6/1 ?

Welche funktionellen Anforderungen müssen an binäre Signalspeicher gestellt werden?

In Bild 6/7 werden sowohl Setz- wie auch Rückstellvorgang dargestellt, wie sie sich prinzipiell bei einem binären Signalspeicher ergeben. Der Speicher wird durch ein L-Signal auf der Setzleitung S gesetzt und über den Rückstelleingang R durch ein weiteres L-Signal wieder gelöscht.

Ein Beispiel für den Einsatz von Signalspeichern: Zeit- und Geschwindigkeitsmessung

Um noch einmal an einem praktischen Beispiel das Prinzip und die Notwendigkeit der Speicherung binärer Signale verdeutlichen zu können, sei hier eine einfache digitale Meßeinrichtung vorgestellt, die in verschiedenen Varianten zur Bestimmung von Ablaufzeiten und von Durchschnittsgeschwindigkeiten eingesetzt wird. Wesentliche Elemente dieser Meßanordnung sind einmal ein einzelner elektronischer Speicher, ohne den der Meßvorgang gar nicht gezielt ablaufen könnte, und zum anderen Mal ein Digitalzähler, der, wie in Kapitel 9 noch ausführlich dargestellt wird, aus einzelnen binären Speicherelementen aufgebaut ist.

In unserem Beispiel soll die Geschwindigkeit eines Versuchskörpers bestimmt werden, der sich auf einer Fahrbahn bewegt, Bild 6/10. Die Geschwindigkeit des Körpers können wir nicht direkt am Meßinstrument ablesen. Wir bestimmen sie indirekt durch die Auswertung zweier Einzelmessungen, Bild 6/11.

Wir geben den vom Versuchskörper zu durchlaufenden Weg mit zwei Markierungen A und B vor und bestimmen über eine elektronische Messung genau die Zeit, die der Körper benötigt, um vom Punkt A nach Punkt B zu gelangen. Aus der Weg- und der Zeitmessung läßt sich dann die Körpergeschwindigkeit nach der bekannten Formel $v = s/t$ errechnen. Das eigentliche meßtechnische Problem dieser Versuchdurchführung liegt in der genauen Bestimmung des Zeitintervalls. Im Prinzip könnte man die Laufzeit des Versuchskörpers, so wie es teilweise noch in der Leichtathletik üblich ist, mit der Hand stoppen. Doch man weiß, wie ungenau diese Zeiten sind, wenn man sie mit elektronisch gestoppten Zeiten vergleicht.

In unserer Versuchsanlage verwenden wir eine elektronische Zeitmeßeinrichtung, mit der wir noch 1/1000 s präzise und sicher erfassen können. Wesentliche Be-

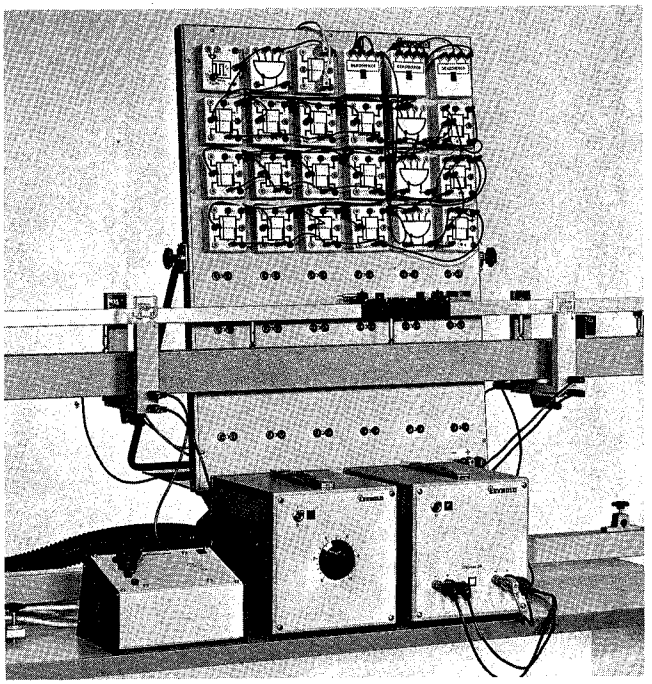
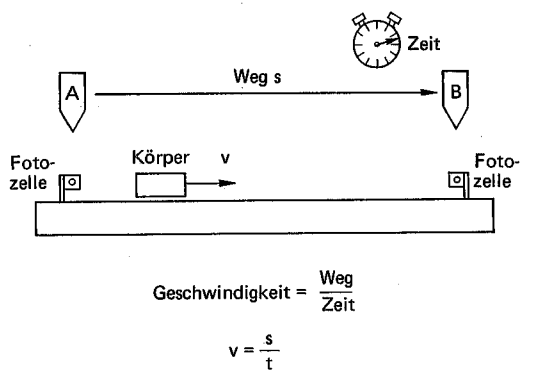


Bild 6/10. Versuchsaufbau einer Luftkissenfahrbahn zur Bestimmung von Laufzeiten bzw. Geschwindigkeiten.



$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

Bild 6/11. Schema des Versuchsaufbaus zur Bestimmung von Laufzeiten bzw. Geschwindigkeiten.

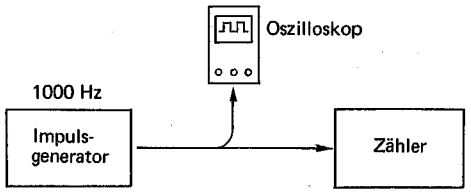


Bild 6/12. Prinzip der Zeitmessung auf der Basis der Impulszählung.

standteile dieser Zeitmeßeinrichtung sind einmal ein Digitalzähler und zum anderen ein Impulsgenerator, der pro Sekunde genau 1000 Impulse abgibt, Bild 6/12.

Lassen wir diese vom Generator abgegebenen Impulse exakt eine Sekunde lang auf den Zählereingang laufen, so zeigt dieser 1000 Tausendstel Sekunden an.

In unserer Versuchsanordnung soll der elektronische Zähler die vom Generator abgegebenen Impulse nur in dem Zeitraum zählen, in dem sich der Versuchskörper zwischen den Meßpunkten A und B befindet. Um diese gezielte Impulszählung ermöglichen zu können, wurde zwischen dem Generator und dem Zähler ein Impulstor in Form eines UND-Gliedes eingebaut, Bild 6/13.

Überschreitet der Versuchskörper den Punkt A, so wird über eine dort angebrachte Fotozelle ein kurzer Startimpuls abgegeben, der auf den Setzeingang S des elektronischen Speichers einwirkt. Der Speicher wird ohne Zeitverzug mit dem Eintreffen des Setzsignals gesetzt. Am Ausgang des Speichers tritt jetzt ein L-Signal auf, das den zweiten Eingang der UND-Stufe belegt. Jetzt können die vom Generator ausgehenden Impulse über das Logiktor zum Zählereingang gelangen.

Zu beachten ist, daß ohne den eingebauten elektronischen Speicher das Impulsgatter nur für den kurzen Augenblick der Überschreitung des Punktes A geöffnet wäre.

Sobald der Versuchskörper den Punkt B der Bahn überschreitet, wird auch hier über eine Fotozelle ein elektrischer Impuls ausgelöst, der den elektronischen Speicher jetzt aber über den Rückstelleingang R wieder löscht. Die UND-Stufe wird durch das 0-Signal am Ausgang des Speichers gesperrt und der Zähler nimmt keine Impulse mehr auf. Jetzt, da der Meßvorgang beendet ist, kann das Ergebnis der Zeitmessung am Zähler in digitaler Form abgelesen werden.

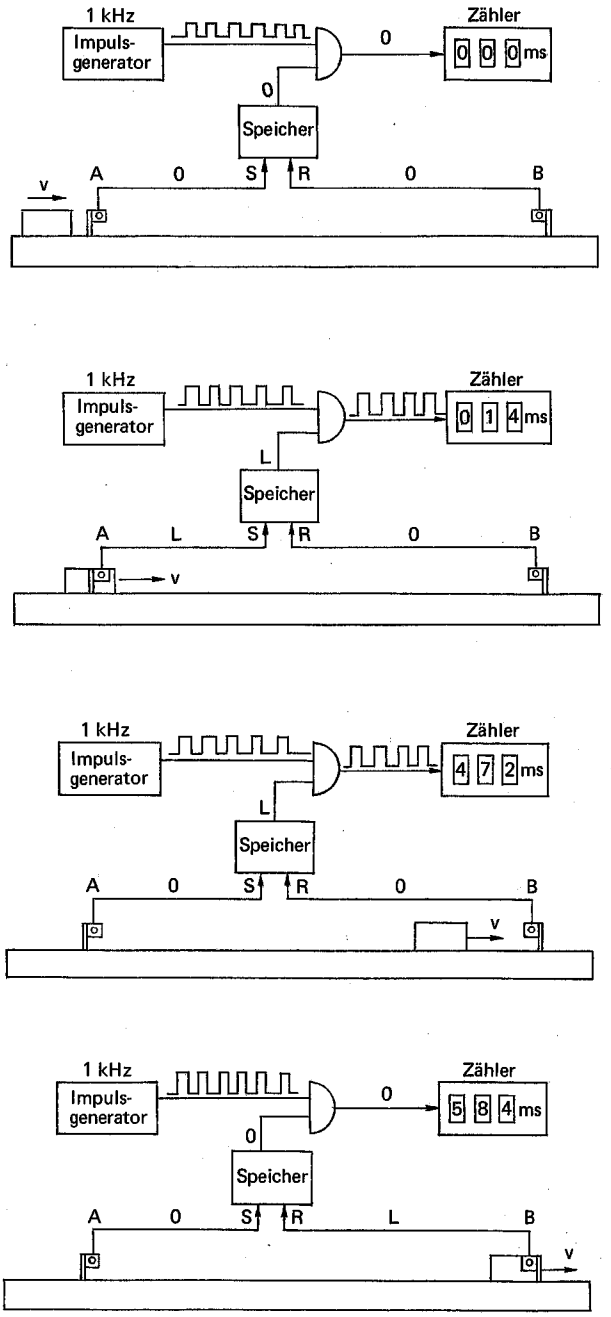


Bild 6/13. Vorgang der Laufzeitbestimmung über eine digitalelektronische Zeitmessung.

Signalspeicher aus NOR-Gliedern

In dem vorgestellten meßtechnischen Versuchsaufbau haben wir die funktionelle Arbeitsweise eines in der Ausführung meist elektronisch realisierten Speichers verfolgen können. Bevor wir uns dem schaltungstechnischen Aufbau eines solchen Speichers zuwenden, erscheint es jedoch zweckmäßig, die Speicherfunktion noch einmal kurz aufzuzeigen, Bild 6/14.

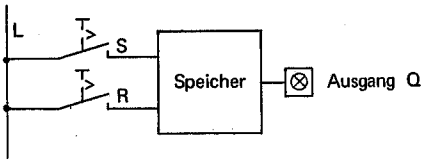


Bild 6/14. Blockbild eines Binär-Speicherelements.

Über den mit *S* bezeichneten Setzeingang kann der elektronische Speicher gesetzt werden. Über den mit R bezeichneten Rückstelleingang wird er wieder gelöscht.

Im Ruhezustand führt der Speicherausgang Q ein 0-Signal. Wenn jetzt über den Setzeingang *S* ein L-Signal eingegeben wird, so wird der Speicherausgang Q auf L gezwungen. Läßt man nun die Setztaste los, so verbleibt der Speicherausgang Q im Zustand L, obwohl nun am Speichereingang S ein 0-Signal ansteht. Der Ausgang Q des Speichers repräsentiert folglich das einmal eingegebene L-Signal auch dann noch, wenn dieses selbst am Eingang des Speichers nicht mehr anliegt.

Drückt man die Setztaste erneut, so ändert sich der Ausgangszustand des Speichers nicht. Ein elektronischer Speicher, der bereits gesetzt ist, kann ohne vorheriges Löschen nicht erneut gesetzt werden. Gelöscht wird der Speicher, indem man über die Rückstelleitung R ein L-Signal zuführt.

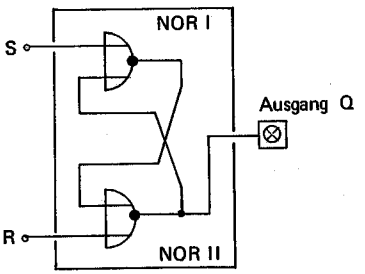


Bild 6/15. Binär-Speicher aus zwei NOR-Gliedern.

Da nach diesen Überlegungen die funktionelle Arbeitsweise eines binären Speichers bekannt ist, wollen wir uns nun den schaltungstechnischen Einzelheiten zuwenden.

Die nebenstehende Schaltskizze, Bild 6/15, zeigt einen aus zwei NOR-Stufen aufgebauten Speicher für binäre Signale. Wie wir hier sehen, reicht die Universalität der NOR-Glieder weiter, als dies in Kapitel 5 dargelegt werden konnte.

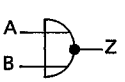
Bevor wir auf die internen Vorgänge der Speicherschaltung zu sprechen kommen, erscheint es zweckmäßig, noch einmal auf die logische Signalverknüpfung bei NOR-Gliedern einzugehen. Beachten Sie die nebenstehende Funktionstabelle, Bild 6/16.

Der NOR-Stufenausgang *Z* führt immer dann ein L-Signal, wenn beide Gattereingänge auf 0 liegen. Bereits ein L-Signal an einem der beiden Eingänge zwingt den Ausgang Z auf 0. Dieses logische Verhalten muß beachtet werden, wenn wir die Speicherschaltung selbst analysieren.

L = 1
O = Low

A	B	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

NOR-Glied



A	B	Z
L=0	L=0	L=High
L 0	H L	0 Low
H L	L 0	0 L
H L	H L	0 L

Bild 6/16. Symbol und Funktionstabelle einer NOR-Stufe.

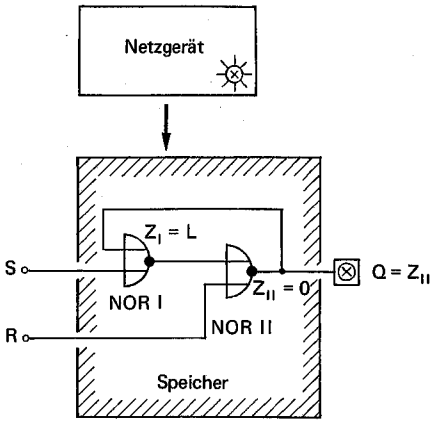


Bild 6/17. Die Funktionsfähigkeit des Binär-Speichers, der aus zwei NOR-Stufen besteht, setzt bei Einschaltung der Spannungsversorgung voraus, daß die Schaltungen der beiden NOR-Glieder nicht exakt gleich sind.

Wird dieser aus zwei NOR-Gliedern bestehenden Schaltung durch Einschalten des Netzgerätes die elektrische Versorgungsspannung zugeführt, Bild 6/17, so bauen sich in ihr die logischen Signale 0 und L in Form elektrischer Potentiale auf. Infolge der unvermeidlichen Toleranzen der verwendeten elektronischen Bauelemente (Transistoren, Widerstände, Dioden) sind die beiden NOR-Stufen nicht mit absolut gleichen Werten aufgebaut. Dies hat zur Folge, daß eines der beiden NOR-Glieder schneller als das andere durchschaltet und somit ein dem L-Signal entsprechendes elektrisches Potential am Ausgang ausbildet.

Wir nehmen einmal an, daß am Ausgang Z_I der NOR-Stufe I das L-Signal als erstes auftritt. Somit liegen in der Schaltung jetzt folgende Signalzustände vor, Bild 6/18a.

Am Eingang A der NOR-Stufe II liegt, vom Ausgang der NOR-Stufe I herkommend, ein L-Signal an. Über die Rückstelleitung R wird der zweite Eingang B der NOR-Stufe II mit 0-Signal belegt. Ein einziges L-Signal am Eingang der NOR-Stufe reicht bereits aus, um den Ausgang Z_{II} der NOR-Stufe II auf 0-Signal zu zwingen.

Dieses 0-Signal bei Z_{II} ist schaltungstechnisch auf den Eingang C der NOR-Stufe I zurückgekoppelt. In Verbindung mit dem 0-Signal, das über die Setzleitung S auf

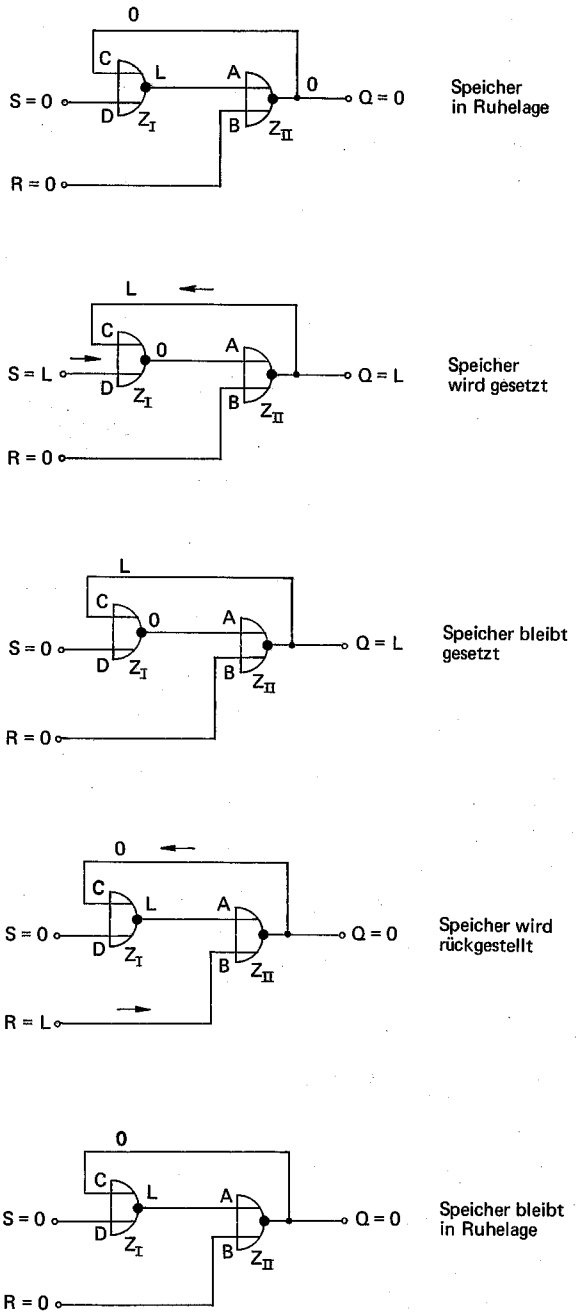


Bild 6/18. Die Speicherfunktionen „Setzen", „Speichern" und „Rückstellen" bei einem Binär-Speicher aus NOR-Gliedern.

den Eingang D der NOR-Stufe I geschaltet ist, wird das von uns zu Beginn angenommene L-Signal am Ausgang Z_I der NOR-Stufe I bestätigt.

In diesem vorliegenden Grundzustand ist der Speicher gelöscht.

Gibt man nun auf den Setzeingang des Speichers ein L-Signal, so wird hierdurch der Ausgang Z_I der NOR-Stufe I auf 0 gezwungen. Damit verändern sich nunmehr auch die Verhältnisse am Eingang der nachfolgenden Stufe. Der Ausgang der NOR-Stufe II, der gleichzeitig auch Speicherausgang ist, schaltet auf L.

Über die Rückkoppelleitung wird dieses L auf den Eingang der NOR-Stufe I zurückgeschaltet.

Verschwindet das Setzsignal am Eingang *S*, so kann sich der interne Zustand des Speichers nicht verändern, da das zurückgekoppelte L-Signal quasi die Rolle des Setzsignals übernommen hat.

Das eingegebene L-Signal ist in der Schaltung gespeichert und wird am Speicherausgang Q durch den Zustand L repräsentiert.

Gibt man ein L-Signal auf den Rückstelleingang *R* des Speichers, so wird der Ausgang Z_{II} der NOR-Stufe II und somit der Speicherausgang Q auf 0 gezwungen. Nunmehr liegen an den Eingängen der NOR-Stufe I zwei 0-Signale an und es bildet sich bei Z_I ein L-Signal aus. Dieses L-Signal übernimmt nach dem Verschwinden des Rückstellsignals dessen Rolle. Die Folge ist, daß der Speicher zurückgestellt bleibt. Nun haben wir den Ausgangszustand der Schaltung wieder erreicht und der Speicher kann durch ein weiteres L-Signal am Setzeingang S erneut gesetzt werden.

In der Praxis findet man die aus zwei NOR-Gliedern aufgebaute Speicherschaltung meist so dargestellt, wie es Bild 6/19 zu entnehmen ist.

In dieser Darstellung werden beide NOR-Gliederausgänge herausgeführt. Dies hat den Vorteil, daß gleichzeitig sowohl der direkte wie auch der negierte Speicherzustand abgefragt werden können, was in vielen Anwendungsfällen zu erheblichen Schaltungsvereinfachungen führt.

Ist der Speicher gesetzt, so liegt der Speicherausgang Q auf L-Signal, der negierte Ausgang $\bar{Q}$ auf 0-Signal. Wird der Speicher gelöscht, so registrieren wir bei Q ein 0-Signal, bei $\bar{Q}$ ein L-Signal.

Mit der in NOR-Technik verwirklichten Schaltung wurde eine neue Funktionseinheit geschaffen. Da der Digitaltechniker in der Praxis nicht jedesmal den inneren Aufbau des Speichers zu beachten wünscht, hat man für diese aus zwei Verknüpfungsgliedern geschaffene Funktionseinheit ein eigenes Symbol, eben das Symbol eines Speichers, eingeführt. Wie Bild 6/20 zeigt, besitzt der elektronische Speicher in seiner Grundausführung zwei Eingangs- und zwei Ausgangsanschlüsse.

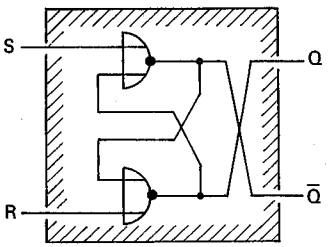


Bild 6/19. Binär-Speicher in NOR-Technik mit den Eingängen S (Setzen) und R (Rückstellen) und den Ausgängen Q und $\bar{Q}$.

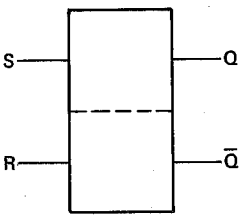


Bild 6/20. Symbol des Binär-Speichers (statischer RS-Speicher).

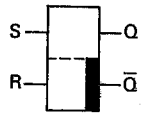


Bild 6/21. Symbol des Binär-Speicherelements (statischer RS-Speicher); der schwarze Balken kennzeichnet die Ruheseite $\bar{Q}$.

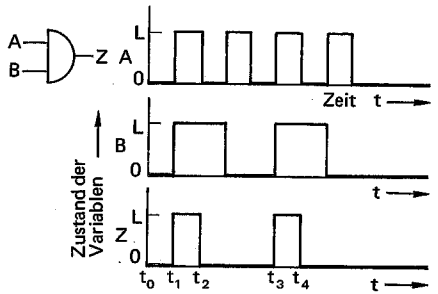


Bild 6/22. Signal-Zeit-Plan eines UND-Gliedes.

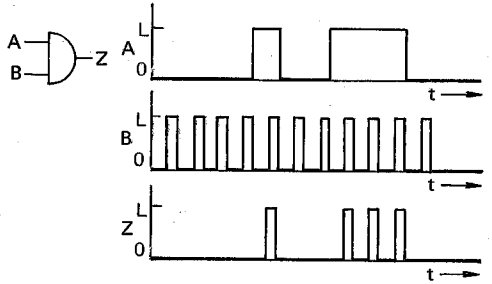


Bild 6/23. Signal-Zeit-Plan eines UND-Gliedes.
Im Vergleich zu Bild 6/22 wurden andere Signalabläufe der Eingangsvariablen *A* und *B* gewählt.

Übung 6/2 ?

Skizzieren Sie einen binären Signalspeicher, der aus NICHT-Gliedern und ODER-Stufen aufgebaut ist.

Übung 6/3 ?

a) Entwickeln Sie eine Speicherschaltung, die aus zwei NAND-Gliedern aufgebaut ist.

b) Erläutern Sie die Funktionsweise dieser Schaltung.

Signalspeicher mit Vorzugslage

Der bisher vorgestellte Speicher hat den Nachteil, daß seine Signalzustände nach dem Einschalten der Versorgungsspannung, bedingt durch den Speicher-Aufbau, nicht eindeutig definiert sind. Je nach den tatsächlich vorkommenden Toleranzen kann z.B. nach dem Einschalten der Versorgungsspannung ein Speicher bei Q, ein anderer Speicher evtl. bei $\bar{Q}$ ein L-Signal führen.

Hier sorgt man durch eine bewußt vorgegebene Unsymmetrie in der elektronischen Schaltung dafür, daß nach dem Einschalten der Versorgungsspannung immer ein bestimmter Speicherausgang -und zwar die Ruheseite $\bar{Q}$- ein L-Signal führt. Bei solchen Speichern kann die Vorzugslage durch einen schwarzen Balken gekennzeichnet werden (Bild 6/21). Hierbei ist jedoch allgemein zu beachten, daß nach DIN 40 700 die Definition der Grundstellung offen ist.

Digitaltechnische Signalabläufe im Signal-Zeit-Plan

Eine besonders vorteilhafte Methode der Darstellung digitaltechnischer Signalabläufe stellt der Signal-Zeit-Plan dar.

Im Signal-Zeit-Plan werden die digitalen Signale als Impulsfolgen aufgetragen, so wie sie sich im zeitlichen Ablauf innerhalb einer Anlage ergeben können.

Bild 6/22 gibt einen Signal-Zeit-Plan wieder, wie man ihn für ein UND-Glied erstellen kann. Die zeitlichen Signalfolgen der freien Variablen *A* und *B* wurden frei gewählt, doch wurde darauf geachtet, daß alle vier möglichen Signalkombinationen für $Z = A \wedge B$ auftreten. In der Praxis der digitalen Schaltungstechnik sind diese Signalabläufe allerdings von den jeweiligen Anlagegegebenheiten abhängig.

Während nun der Verlauf der Signale *A* und *B* im Prinzip frei vorgegeben wurde, muß der Signalverlauf der abhängigen Variablen *Z* nach der vorliegenden logischen Verknüpfung ermittelt werden. In unserem Beispiel, Bild 6/22, erscheint im zeitlichen Ablauf am Ausgang *Z* der UND-Stufe nur immer dann ein L-Signal, wenn die beiden Eingangssignale *A* und *B* gleichzeitig auf L liegen.

Wie Bild 6/23 zeigt, ergibt sich bei einem anderen zeitlichen Verlauf der Eingangssignale am Ausgang des UND-Gliedes auch ein anderer zeitlicher Verlauf des Ausgangssignals *Z*. Vergleichen Sie Bild 6/22 mit Bild 6/23.

Bild 6/24 gibt einen Signal-Zeit-Plan wieder, wie er sich für einen binären Speicher ergeben kann. Das Setzsignal *S* und das Rückstellsignal *R* sind jeweils als Impulsfolge angenommen. Zum Zeitpunkt t_0 sei der Speicher noch in der Ruhelage: *Q* führt 0-Signal, $\bar{Q}$ führt L-Signal.

Zum Zeitpunkt t_1 wird der Speicher durch ein L-Signal am Setzeingang S gesetzt. Er bleibt gesetzt, auch wenn das Setzsignal wieder verschwunden ist. Zum Zeitpunkt t_2 wird der Speicher durch ein L-Signal am Rückstelleingang *R* wieder zurückgesetzt.

Bild 6/25 gibt einen weiteren Signal-Zeit-Plan für den gleichen binären Speicher wieder, jetzt allerdings für einen anderen zeitlichen Verlauf der Eingangssignale.

Beachten Sie besonders, daß das zum Zeitpunkt t_2 auftretende Setzsignal den Speicherzustand nicht verändern kann, da der Speicher bereits zum Zeitpunkt t_1 gesetzt worden ist.

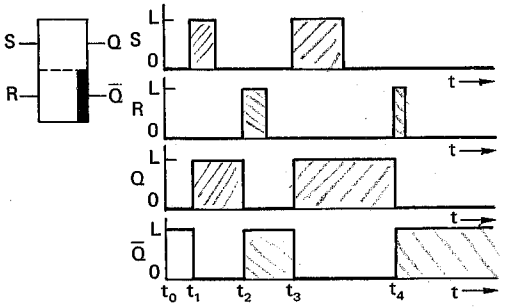


Bild 6/24. Signal-Zeit-Plan des statischen RS-Speichers.

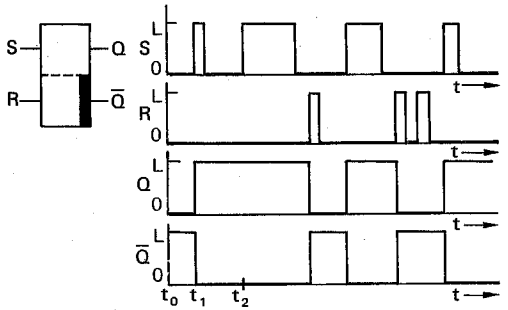
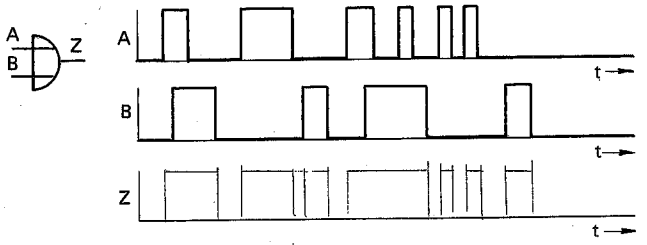


Bild 6/25. Signal-Zeit-Plan des statischen RS-Speichers.
Im Vergleich zu Bild 6/24 wurden andere Signalabläufe der Eingangsvariablen *A* und *B* gewählt.

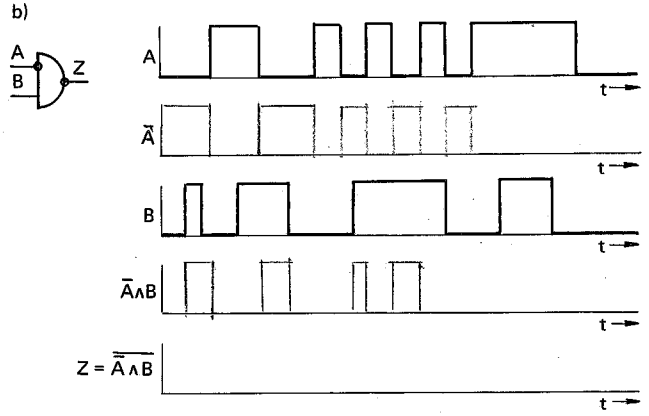
Übung 6/4 ?

Vervollständigen Sie die Signal-Zeit-Pläne a) bis c).

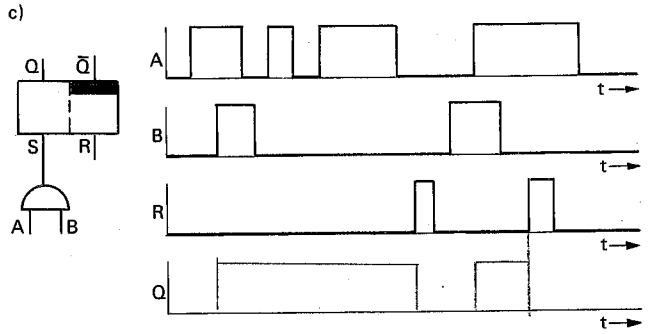
a)



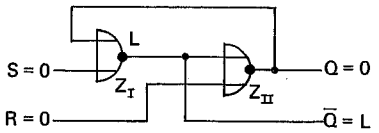
b)



c)



a)



b)

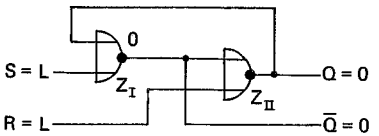


Bild 6/26. Bei dem Binär-Speicherelement, das aus zwei NOR-Gliedern besteht, ist die Eingangssignalkombination S = L, R = L nicht erlaubt.

Tabelle 6/1. Funktionstabelle eines statischen RS-Speichers (NOR-Technik).

Q_{t_n} Zustand vor einer neuen Eingangssignalkombination

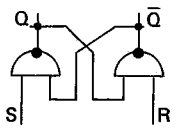
$Q_{t_{n+1}}$ Zustand nach einer neuen Eingangssignalkombination

S	R	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}
L	0	L
0	L	0
L	L	*

*) Nicht zugelassen

Übung 6/5

a) Welche Eingangs-Signal-Zustände sind bei der aus zwei NAND-Gliedern aufgebauten Schaltung unzulässig? Beachten Sie, daß $Q = \bar{Q}$ nicht eintreten darf.



b) Ergänzen Sie die untenstehende Tabelle für die Schaltung nach Übung 6/5 a.

S	R	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	*
0	L	L
L	0	0
L	L	Q_{t_n}

Unerlaubte Signalkombination am Speichereingang

Bild 6/26a gibt die Ruhestellung eines aus zwei NOR-Gliedern aufgebauten Speichers in der bereits bekannten Darstellungsart wieder.

Für die Eingangssignalkombination S = 0 und R = 0 verbleibt der Speicher in seiner Lage, die er vor Auftreten dieser Eingangssignalkombination erreicht hatte. Im Ruhezustand ergibt sich somit Q = 0 und $\bar{Q}$ = L, im Arbeitszustand dagegen Q = L und $\bar{Q}$ = 0. Die Signalkombination S = 0 und R = 0 bewirkt also keine Veränderung des Speicherzustandes.

Durch die Eingangssignalkombination S = L und R = 0 wird der Speicher gesetzt, durch die Signalkombination S = 0 und R = L wird er eindeutig zurückgestellt.

Für alle drei genannten Eingangssignalkombinationen nimmt der Speicherausgang $\bar{Q}$ den negierten Zustand von Q an.

Anders dagegen bei der Eingangssignalkombination S = L und R = L. Wie Sie dem Bild 6/26b entnehmen können, werden beide NOR-Stufenausgänge Q und $\bar{Q}$ gleichzeitig auf 0-Signal gezwungen. Da dies eindeutig im Widerspruch zur Definition der Speicherausgänge Q und $\bar{Q}$ ist, kann diese Speichereingangssignalkombination nicht gestattet werden. Sie muß bei diesem hier besprochenen Speichertyp in der praktischen Speicherschaltungstechnik vermieden werden.

In Tabelle 6/1 sind diese Zusammenhänge noch einmal zusammengefaßt. Q_{tn} besagt, daß der zum Zeitpunkt t_n vorliegende Speicherzustand beibehalten wird, wenn zum späteren Zeitpunkt t_{n+1} die Eingangssignalkombination auf S = 0 und R = 0 geht.

Das Sternchen bei S = L und R = L weist darauf hin, daß diese Eingangssignalkombination nicht zugelassen ist.

Das Problem der Prioritäten der Eingangssignale – Logik am Eingang des Speichers

Wie wir im letzten Abschnitt gesehen haben, ist die Eingangssignalkombination S = L und R = L nicht erlaubt. Nun kann es jedoch in der Praxis der Schaltungstechnik vorkommen, daß z.B. auf der Rückstelleitung R bereits ein L-Signal auftritt, wenn die Setzleitung S noch ein L-Signal führt oder umgekehrt. Damit der Speicher auch in solchen Fällen eine sinnvolle Ausgangssignalkombination bereitstellen kann, muß man einem der beiden Eingangssignale Vorrang (Priorität) vor dem anderen einräumen.

In der Schaltung nach Bild 6/27 hat das Setzsignal S Priorität. Für den Fall, daß S = 0 ist, wird über die Negation die dem Rückstelleingang R vorgeschaltete UND-Stufe mit L-Signal so vorbereitet, daß sich das Rückstellsignal R am Speichereingang R auswirken kann, oder anders ausgedrückt: nur wenn S = 0 ist, kann das Rückstellsignal zum Speicher gelangen.

Tritt dagegen am Setzeingang S ein L-Signal auf, so wird die UND-Stufe über die Negation gesperrt. Der Speicher wird, unabhängig vom Signalzustand R, mit dem Eintreffen des Setzsignals in die Arbeitslage gebracht. Oder anders formuliert: ein L-Signal am Rückstelleingang R wirkt sich erst dann aus, wenn der Setzeingang S ein 0-Signal führt.

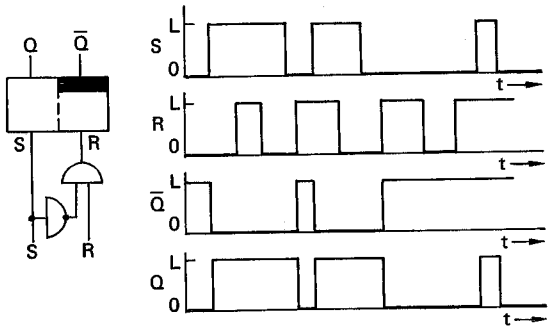


Bild 6/27. Bei diesem statischen RS-Speicher hat das Setzsignal S Priorität.

In der Schaltung nach Bild 6/28 hat das Rückstellsignal R Priorität. Für den Fall, daß R = 0 ist, wird über die Negation die dem Setzeingang S vorgeschaltete UND-Stufe mit L-Signal so vorbereitet, daß sich das Setzsignal S am Speicherausgang S auswirken kann.

Tritt dagegen am Rückstelleingang R ein L-Signal auf, so wird die UND-Stufe über die Negation gesperrt.

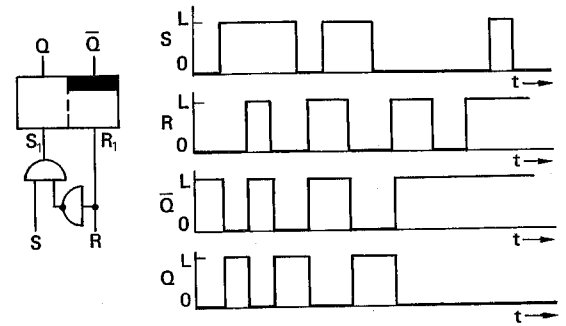


Bild 6/28. Bei diesem statischen RS-Speicher hat das Rückstellsignal R Priorität.

Der Speicher wird unabhängig vom Signalzustand S mit dem Eintreffen des Rückstellsignals in die Ruhelage gebracht. Oder anders ausgedrückt: ein L-Signal am Setzeingang S wirkt sich erst dann aus, wenn der Rückstelleingang R ein 0-Signal führt.

In der Schaltung nach Bild 6/29 sperren sich die Speichereingangssignale gegenseitig. So kann ein L-Signal auf der Setzleitung S den Speicher nur dann setzen, wenn der Rückstelleingang R ein 0-Signal führt und umgekehrt. Aber prüfen Sie es selbst in der Zeichnung nach!

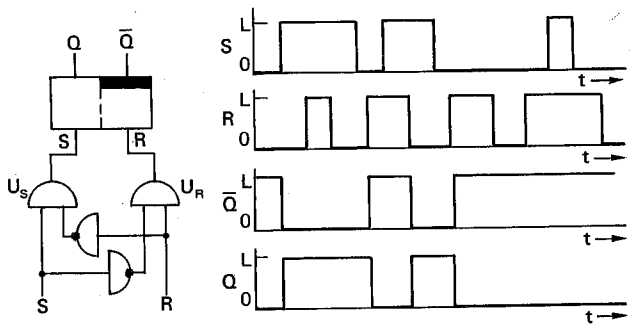


Bild 6/29. Bei diesem statischen RS-Speicher hat das vor dem Eintreffen des zweiten Eingangssignals bereits anstehende Eingangssignal Priorität.

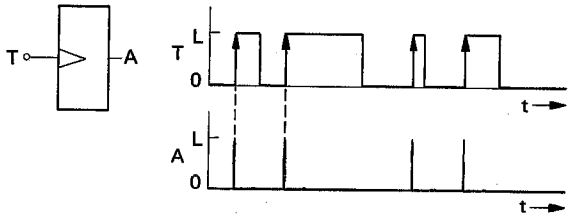


Bild 6/30. Signal-Zeit-Plan eines Dynamik-Vorsatzes, der mit 0L-Signalwechsel getriggert wird.

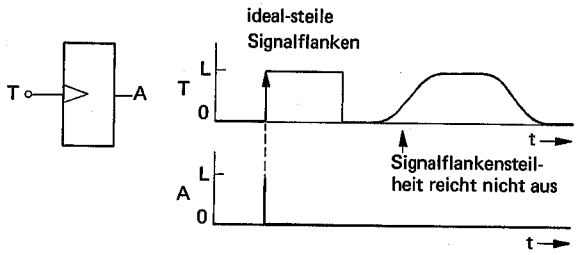


Bild 6/31. Prinzipielle Arbeitsweise eines Dynamik-Vorsatzes, der mit 0L-Signalwechsel getriggert wird.
Nur steile Signalflanken lösen ein Ausgangssignal aus.

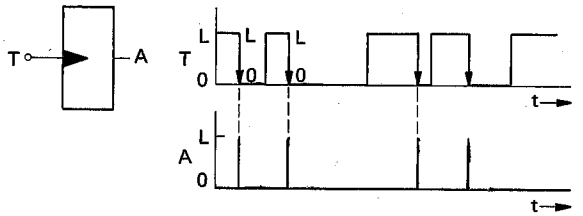


Bild 6/32. Signal-Zeit-Plan eines Dynamik-Vorsatzes der L0-Signalwechsel getriggert wird.

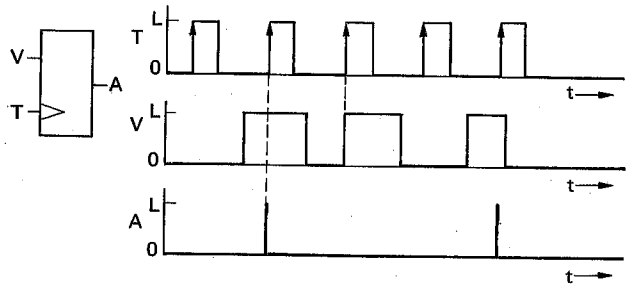


Bild 6/33. Signal-Zeit-Plan eines vorbereitbaren Dynamik-Vorsatzes, der mit 0L-Signalflanken getriggert und mit L-Signal vorbereitet wird.

Elektronische Speicher können dynamisch angesteuert werden

Bisher gingen wir davon aus, daß die binären Speicher mit einem L-Signal am Eingang *S* gesetzt und ebenfalls mit einem L-Signal am Eingang R wieder zurückgesetzt werden.

Infolge der hohen Arbeitsgeschwindigkeit, besonders der elektronischen Systeme, können binäre Speicher bei entsprechender konstruktiver Auslegung aber bereits mit dem Wechsel des Eingangssignals gesetzt bzw. zurückgestellt werden. Speicher, die auf solche Signalwechsel reagieren, werden „dynamisch angesteuerte Speicher" genannt.

Wesentliche Elemente solcher Speichersysteme sind die sog. Dynamikvorsätze, die nur dann ein kurzes Ausgangssignal abgeben, wenn das Signal an ihrem Eingang wechselt. Solche Dynamikvorsätze sind den eigentlichen Speichereingängen vorgeschaltet oder im Speicher selbst integriert.

Bild 6/30 zeigt einen Dynamikvorsatz, der 0L-Signalwechsel auswertet. Immer dann und nur dann, wenn das Eingangssignal T sehr schnell von 0 nach L wechselt, tritt am Ausgang A für kurze Zeit ein L-Signal auf. Die Dauer dieses Ausgangssignals ist unabhängig von der Länge des Eingangssignals.

Erreicht die Flankensteilheit des Eingangssignals T nicht die für das jeweilige System erforderlichen Werte, so wird am Ausgang A kein Signal abgegeben, Bild 6/31.

Bild 6/32 zeigt einen anderen Typ eines Dynamikvorsatzes. Während die Dynamikvorsätze, die 0L-Signalwechsel (positive -ansteigende- Signalflanken) auswerten, durch ein offenes Dreieck am Eingang T gekennzeichnet sind, reagieren Dynamikvorsätze, die durch ein ausgefülltes Dreieck gekennzeichnet sind, auf L0-Signalwechsel (negative -abfallende- Signalflanken).

Bild 6/33 zeigt einen vorbereitbaren Dynamikvorsatz. Damit am Ausgang A ein kurzzeitiges L-Signal auftreten kann, muß der Vorbereitungseingang *V* bereits auf L-Signal liegen, bevor das auslösende (triggernde) Signal T von 0 nach L wechselt. Dieser vorbereitbare Dynamikvorsatz wirkt wie ein spezielles logisches UND.

Für den Fall, daß der Vorbereitungseingang *V* erst dann auf L gelegt wird, wenn das Triggersignal T bereits den Zustand L erreicht hat, wird kein Ausgangsignal zu L gebildet.

Ausführlichere Hinweise zu der Arbeitsweise der vorbereitbaren Dynamik-Vorsätze enthalten die Übungen dieses Kapitels (ab Übung 6/18 Seite 167).

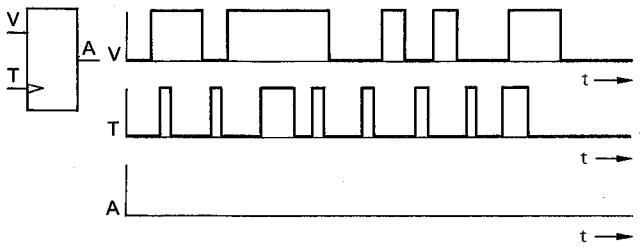
Bild 6/34 zeigt einen vorbereitbaren Dynamikvorsatz, der mit L0-Signalwechsel getriggert wird. Dabei muß vor dem Signalwechsel der Vorbereitungseingang bei diesem Typ auf 0-Signal liegen. Dies wird durch den Negationspunkt am Vorbereitungseingang V gekennzeichnet. Für den Fall, daß der Vorbereitungseingang V erst auf 0 gelegt wird, wenn das Triggersignal T bereits den Zustand 0 erreicht hat, wird kein Ausgangssignal gebildet.

Die Methode der Aktivierung des Eingangs V mit 0-Signal hat sich eingebürgert, weil sie sich aus der elektronischen Schaltungstechnik ergibt.

Entfällt der Negationspunkt (Bild 6/35), dann erfolgt die Vorbereitung wie üblich mit L-Signal am Eingang V (s. a. S. 155).

Übung 6/6 ?

Vervollständigen Sie den Signal-Zeit-Plan.



Speicher mit dynamischen und vorbereitbaren Eingängen

Bild 6/36 zeigt ein binäres Speicherelement mit vorgeschalteten Dynamik-Vorsätzen, das im Verhältnis zum statischen RS-Speicher völlig neue Schaltungsmöglichkeiten erschließt.

Bei der überwiegenden Anzahl der in der Praxis verwendeten dynamisch angesteuerten binären Speicher werden die Dynamikvorsätze nicht wie in Bild 6/36 (links) dargestellt vorgeschaltet, sondern in den Speicherbaustein integriert (Bild 6/36, rechts).

Die in Bild 6/36 vorgestellte dynamisch angesteuerte Speicherstufe besitzt je einen vorbereitbaren Dynamikeingang für die Setzseite wie auch für die Rückstellseite.

Soll die Speicherstufe gesetzt werden, so muß am Setzvorbereitungseingang V_S ein L-Signal anliegen, bevor am Triggereingang T_S ein 0L-Signalwechsel auftritt.

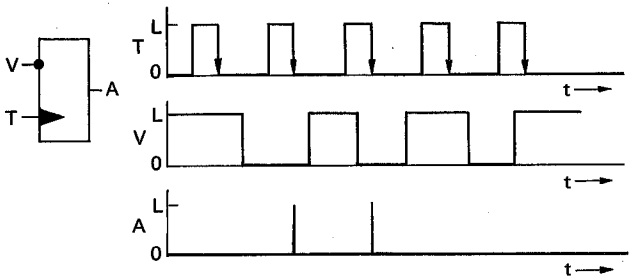


Bild 6/34. Signal-Zeit-Plan eines vorbereitbaren Dynamik-Vorsatzes, der mit L0-Signalflanken getriggert und mit 0-Signal vorbereitet wird.

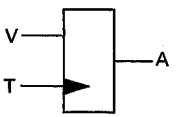


Bild 6/35. Schaltsymbol eines vorbereitbaren Dynamik-Vorsatzes, in der Funktion entsprechend Bild 6/34, jedoch L-Signal am Eingang V zur Vorbereitung.

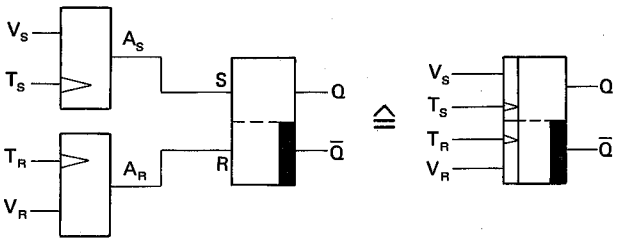


Bild 6/36. Schaltet man einem statischen RS-Speicher zwei vorbereitbare Dynamik-Vorsätze vor, so entsteht als neue Funktionseinheit ein dynamisch angesteuerter Speicher.

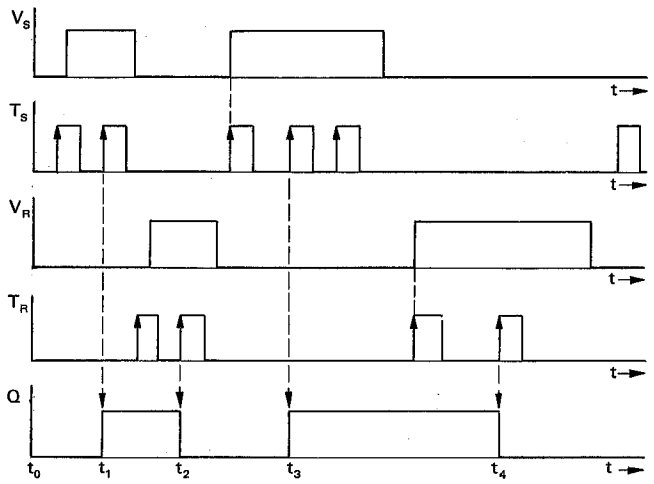


Bild 6/37. Signal-Zeit-Plan zum dynamisch angesteuerten Speicher nach Bild 6/36.

Der gesetzte Speicher kann wiederum nur zurückgesetzt werden, wenn am Rückstellvorbereitungseingang V_R ein L-Signal anliegt, bevor am Triggereingang T_R ein 0L-Signalwechsel auftritt. Die Arbeitsweise der vorgestellten Speicherstufe ist in Bild 6/37 noch einmal ausführlich in einem Signal-Zeit-Plan dargestellt.

Aus dem in Bild 6/36 gezeigten Speichertyp hat man durch relativ einfache schaltungstechnische Maßnahmen weitere Speichervarianten abgeleitet.

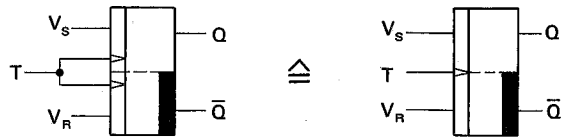


Bild 6/39. Schaltsymbol eines dynamisch angesteuerten Speichers, dessen Triggereingang T je nach Vorbereitung des Speichers zum Setzen oder Rückstellen benutzt werden kann.

Bild 6/40. Dynamisch angesteuerter RS-Speicher.

Für bestimmte Fälle der praktischen Schaltungstechnik ist es vorteilhaft, dynamische Speicher mit nur einem statt mit zwei Triggereingängen T auszustatten, Bild 6/39. Dieser eine Triggereingang wirkt, bei entsprechender Beschaltung der Vorbereitungseingänge V_S bzw. V_R, entweder als Setz- oder als Rückstelleingang. Bekannt ist dieser Speichertyp, in Abwandlung der Speicher-Eingangsbenennungen, als „dynamisch angesteuerter RS-Speicher", Bild 6/40.

Übung 6/7 ?

Vervollständigen Sie den vorgegebenen Signal-Zeit-Plan in Bild 6/38. Beachten Sie, daß bei diesem dynamisch angesteuerten Speichertyp die Vorbereitungseingänge auf 0 liegen müssen, damit der Speicher mit dem folgenden L-0-Signalwechsel getriggert werden kann.

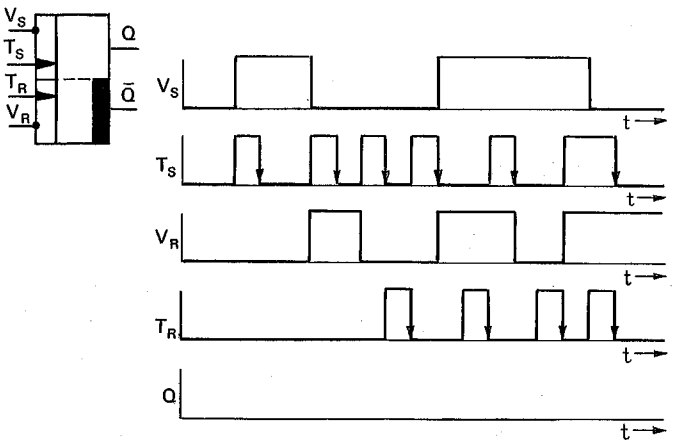


Bild 6/38. Signal-Zeit-Plan zur Übung 6/7.
Anmerkung: Vorbereitend wirkt $V_S = 0$ bzw. $V_R = 0$.

Der dynamische RS-Speicher wird dann gesetzt, wenn der Vorbereitungseingang S mit L belegt ist und ein 0L-Signalwechsel am Triggereingang T auftritt. Zurückgestellt wird dieser Speicher durch ein L-Signal am Vorbereitungseingang R und einen nachfolgenden Signalwechsel von 0 auf L am Eingang T.

Die Eingangssignalkombination S = L und R = L ist bei diesem Speicher nicht gestattet, da die Speicherausgänge nach erfolgter Triggerung einen undefinierten Zustand einnehmen können.

Bild 6/41 gibt die Arbeitsweise dieses dynamisch angesteuerten RS-Speichers im Signal-Zeit-Plan wieder. Es muß beachtet werden, daß der Speicherzustand nur dann verändert werden kann, wenn der entsprechende Vorbereitungseingang auf L liegt, bevor am Triggereingang T ein 0L-Signalwechsel auftritt.

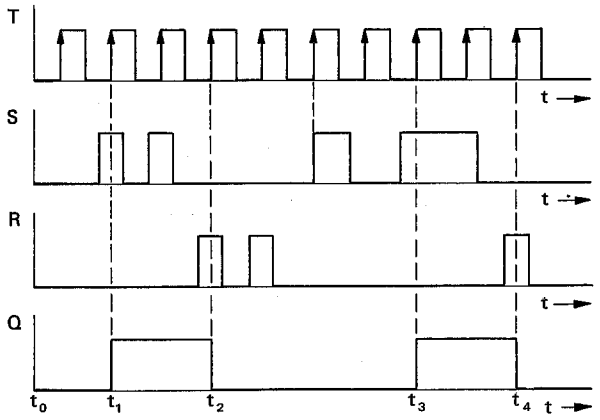
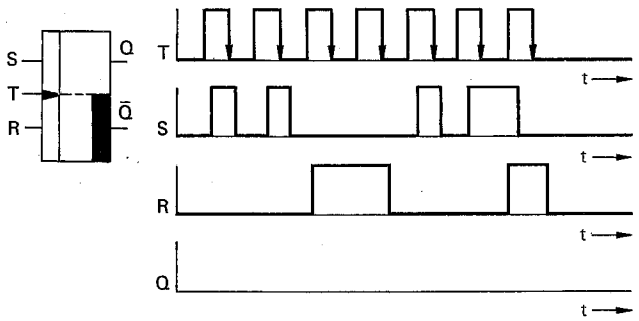


Bild 6/41. Signal-Zeit-Plan eines dynamisch angesteuerten RS-Speichers.

Übung 6/8 ?

Vervollständigen Sie den nachfolgenden Signal-Zeit-Plan.



Das Zähl-Flip-Flop

Bisher war davon ausgegangen, daß die zum Setzen und Rückstellen des dynamisch angesteuerten Speichers benötigten Vorbereitungssignale R und S von außen, also extern herangeführt werden müssen. Man kann aber auch diese Vorbereitungseingänge von den Ausgängen des Speichers her beschalten, Bild 6/42.

Wie müssen diese „speicherinternen" Verbindungen zwischen den Speicherausgängen und den Speichereingängen aussehen? Damit z. B. der zurückgestellte Speicher gesetzt werden kann, muß, bevor das Triggersignal T von

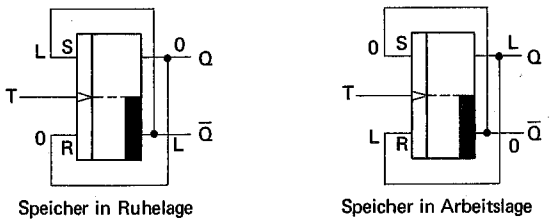


Bild 6/42. Dynamisch angesteuerter RS-Speicher als Zählelement geschaltet (0L-Flankensteuerung).

0 nach L wechselt, der Vorbereitungseingang S mit L-Potential und der Vorbereitungseingang R mit 0-Potential beschaltet sein. Diese erforderliche Vorbereitung wird erreicht, wenn man den Speichereingang S mit dem Speicherausgang $\bar{Q}$ und den vorbereitenden Eingang R mit dem zweiten Speicherausgang Q verbindet.

Verfolgen Sie in Bild 6/42 die einzelnen Ansteuervorgänge. Wir gehen davon aus, daß sich der Speicher in Ruhelage befindet und seine Ausgänge die logischen Zustände Q = 0 und $\bar{Q}$ = L führen. Mit dem Auftreffen eines 0L-Signalwechsels am Triggereingang T wird der Speicher entsprechend der vorgegebenen Vorbereitungszustände gesetzt. Die Folge ist, daß die Speicherausgänge die logischen Zustände Q = L und $\bar{Q}$ = 0 annehmen.

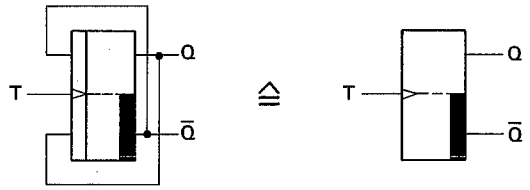


Bild 6/43. Schaltsymbol eines Zähl-Flip-Flops (0L-Flankensteuerung).

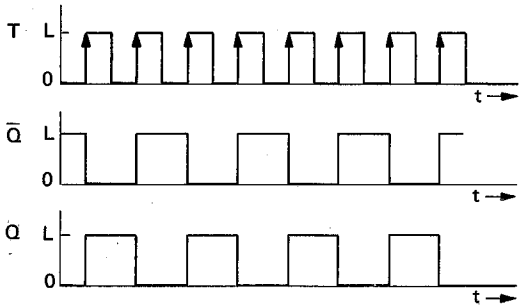
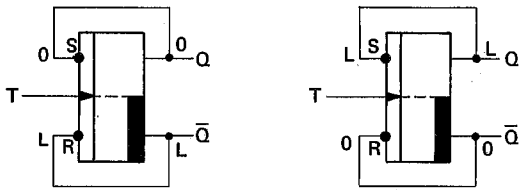


Bild 6/44. Signal-Zeit-Plan zum Zähl-Flip-Flop nach Bild 6/43.



Speicher in Ruhelage Speicher in Arbeitslage

Bild 6/45. Dynamisch angesteuerter RS-Speicher als Zähl-Flip-Flop geschaltet (L0-Flankensteuerung).

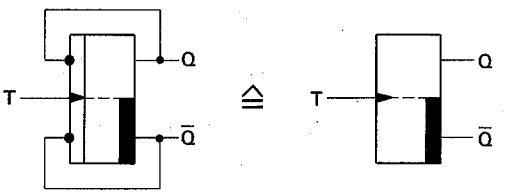


Bild 6/46. Schaltsymbol eines Zähl-Flip-Flops (L0-Flankensteuerung).

Die sich einstellende Veränderung der Speicherausgangszustände liegt über die Verbindungsleitungen unverzüglich auch an den Vorbereitungseingängen S und R an, ohne jedoch eine erneute Veränderung des Speicherzustandes bewirken zu können.

Diese kann nicht erfolgen, weil zum Zeitpunkt der Veränderung der Vorbereitungszustände der 0L-Signalwechsel bereits abgelaufen ist.

Mit einem weiteren nachfolgenden 0L-Signalwechsel am Triggereingang T wird der Speicher entsprechend der neuen Vorbereitungszustände $S = 0$ und $R = L$ wieder zurückgesetzt.

Der Speicher wird, dank der vorliegenden speicherinternen Vorbereitung, mit dem ersten Triggersignal gesetzt, mit dem zweiten zurückgestellt, mit dem dritten erneut gesetzt usw.

Da der Speicher bei jedem auflaufenden Triggerimpuls seinen Zustand ändert und zwischen Arbeits- und Ruhelage hin- und herpendelt, nennt man die binären Signalspeicher auch „Flip-Flops".

Flip-Flops spielen in der Digitaltechnik eine außerordentliche Rolle. Man hat diese Bezeichnung auf alle Typen der in diesem Kapitel behandelten elektronischen Speicher übertragen.

Bei einigen in der Praxis benutzten Flip-Flop-Bausteinen hat man die Verbindungsleitungen zwischen den Flip-Flop-Ausgängen und den Vorbereitungseingängen im Speicherbaustein selbst ausgeführt.

Solche Flip-Flops sind dadurch gekennzeichnet, daß sie nur einen Eingang besitzen, Bild 6/43.

Der Signal-Zeit-Plan nach Bild 6/44 gibt die Signalverhältnisse eines mit 0L-Signalflanken (positive Flanken) getriggerten Flip-Flops wieder. Immer dann, wenn das Eingangssignal T von 0 nach L wechselt, ändern sich die Flip-Flop-Ausgangszustände. Im Prinzip ist dieses Flip-Flop ein Grundelement vieler Zählerschaltungen.

Die Bilder 6/45 und 6/46 zeigen ein L0-Signalwechselgetriggertes Flip-Flop. Beachten Sie, daß bei der Beschaltung S mit 0 und R mit L belegt sein muß, damit das Flip-Flop durch die Rückwärtsflanke (negative Flanke) des Triggersignals vom Ruhezustand in den Arbeitszustand versetzt werden kann.

Der Signal-Zeit-Plan nach Bild 6/47 gibt die Signalverhältnisse eines mit LO-Signalflanken (negative Flanken) getriggerten Flip-Flops wieder. Immer dann, wenn das Eingangssignal T von L nach 0 wechselt, ändern sich die Flip-Flop-Ausgangszustände.

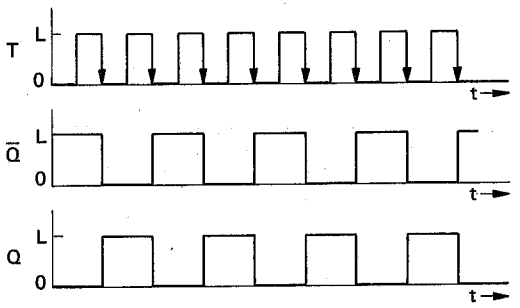


Bild 6/47. Signal-Zeit-Plan zum Zähl-Flip-Flop nach Bild 6/46.

Die Arbeitsweise des JK-Flip-Flops

Im letzten Abschnitt wurde besonders hervorgehoben, daß beim Betrieb des RS-Flip-Flops die Eingangssignalkombination S = L und R = L nicht erlaubt ist, weil unter diesen Umständen die Flip-Flop-Ausgänge Q und $\bar{Q}$ nach Ablauf eines auftretenden 0L-Signalwechsels am Triggereingang T nicht eindeutig definiert sind.

Hier kann man Abhilfe schaffen, indem man jedem Flip-Flop-Vorbereitungseingang ein UND-Glied vorschaltet, Bild 6/48.

Das UND-Glied U_S wird mit dem Speicherausgang $\bar{Q}$ und mit einer externen Vorbereitungsleitung J beschaltet.

Das UND-Glied U_R dagegen wird mit dem Speicherausgang Q und mit einer externen Vorbereitungsleitung K verbunden. Somit sind die direkten Vorbereitungseingänge S und R des RS-Flip-Flops nur jeweils dann mit L-Signal vorbereitet, wenn die entsprechende vorgeschaltete UND-Stufe durchgeschaltet hat.

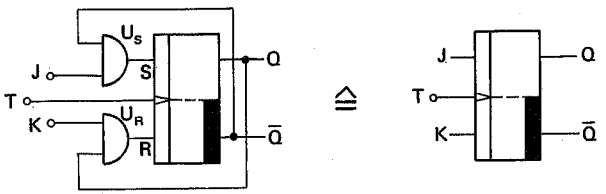


Bild 6/48. JK-Flip-Flop (aus dem RS-Flip-Flop abgeleitet).

Führen beide externe Steuereingänge J und K gleichzeitig L-Signal, so ist durch die vorgeschalteten UND-Glieder sichergestellt, daß die Vorbereitungseingänge S und R des RS-Flip-Flops nicht gleichzeitig L führen. (Man beachte, daß im Falle Q = L der Ausgang $\bar{Q}$ = 0 ist, bzw. umgekehrt.) Die vorliegende Schaltungsanordnung führt zu einem anderen funktionellen Verhalten, als wir es vom RS-Flip-Flop her kennen. Diese neue Schaltung hat man konsequenterweise zu einer neuen Speicherfunktionseinheit zusammengefaßt und JK-Flip-Flop genannt, Bild 6/48 (rechts). (Die Buchstaben J und K wurden willkürlich gewählt!)

Schauen wir uns die Arbeitsweise des JK-Flip-Flops ausführlich im Signal-Zeit-Plan nach Bild 6/49 an.

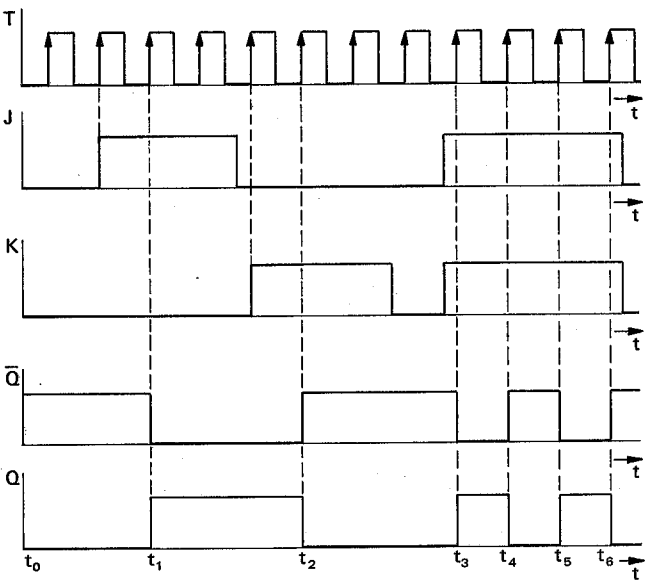


Bild 6/49. Signal-Zeit-Plan zum JK-Flip-Flop nach Bild 6/48.

Übung 6/9 ?

Welche Vorteile hat das JK-Flip-Flop gegenüber dem dynamisch angesteuerten RS-Flip-Flop?

Zum Zeitpunkt t_0 befindet sich das Flip-Flop in Ruhelage. Die auflaufenden positiven Flanken des Triggersignals T bewirken keine Veränderung des Speicherzustandes, da durch $J = 0$ und $K = 0$ beide UND-Glieder U_S und U_R gesperrt sind.

Zum Zeitpunkt t_1 wird das Flip-Flop mit dem Auftreffen des Triggersignals T gesetzt, da kurz zuvor $J = L$ geworden ist und somit die UND-Stufe wegen $\bar{Q} = L$ und $J = L$ durchgeschaltet hat.

Zum Zeitpunkt t_2 wird das Flip-Flop mit dem 0L-Signalwechsel bei T wieder zurückgestellt, da durch die Beschaltung mit $K = L$ und $Q = L$ die UND-Stufe U_R durchgeschaltet hat.

Vom Zeitpunkt t_3 an liegen beide Flip-Flop-Vorbereitungseingänge J und K gleichzeitig auf L. Durch die zusätzliche Beschaltung der UND-Stufen U_S und U_R von den Flip-Flop-Ausgängen $\bar{Q}$ und Q her ist sichergestellt, daß jeweils nur eine der beiden UND-Stufen durchschaltet, wenn ein 0L-Triggersignalwechsel auf den Eingang T des Flip-Flops aufläuft. Mit jedem 0L-Signalwechsel am Eingang T wird das Flip-Flop in eine neue Lage gebracht.

Tabelle 6/2. Funktionstabelle zum JK-Flip-Flop nach Bild 6/48.
Q_{t_n} Zustand vor einer neuen Eingangssignalkombination
$Q_{t_{n+1}}$ Zustand nach einer neuen Eingangssignalkombination

J	K	$Q_{t_{n+1}}$	$\bar{Q}_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}	$\bar{Q}_{t_n}$
L	0	L	0
0	L	0	L
L	L	$\bar{Q}_{t_n}$	Q_{t_n}

In Tabelle 6/2 werden die von einem JK-Flip-Flop bewirkten Signalverhältnisse noch einmal zusammengefaßt.

Im Falle $J = 0$ und $K = 0$ wird der Speicherzustand durch das folgende Triggersignal nicht verändert. War z. B. Q_{t_n} vor dem Eintreffen des Triggersignals 0, so ist auch $Q_{t_{n+1}}$ nach dem Ablauf der 0L-Signalflanke weiterhin 0.

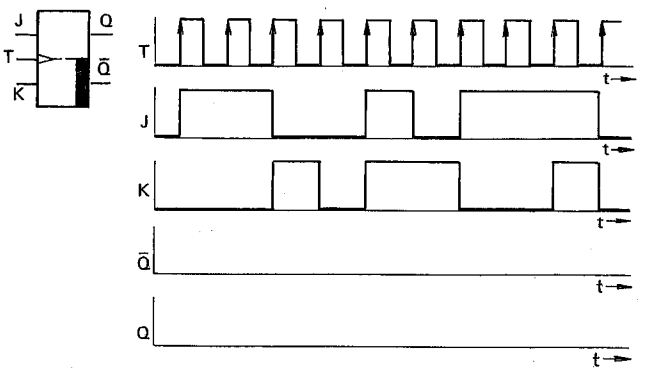
Im Falle $J = L$ und $K = 0$ wird das Flip-Flop mit dem folgenden Triggersignal in Arbeitslage gesetzt.

Im Falle $J = 0$ und $K = L$ wird das Flip-Flop mit dem folgenden Triggersignal in Ruhelage gesetzt.

Im Falle $J = L$ und $K = L$ ändert sich der Flip-Flop-Zustand mit jedem auflaufenden Triggersignal. $Q_{t_{n+1}}$ nach dem Eintreffen des Triggersignals ist immer der negierte Zustand von Q_{t_n} vor dem Eintreffen dieses Triggersignals. War z. B. $Q_{t_n} = 0$, so wird nach erfolgter Triggerung $Q_{t_{n+1}} = L$.

Übung 6/10 ?

a) Warum ist die Unterscheidung von JK und RS nur bei dynamischer Ansteuerung interessant?
b) Vervollständigen Sie den nachfolgenden Signal-Zeit-Plan.



Die Arbeitsweise des D-Flip-Flops

Am Beispiel des JK-Flip-Flops haben wir gesehen, daß man durch besondere schaltungstechnische Maßnahmen aus einem dynamisch angesteuerten RS-Flip-Flop eine neue Funktionseinheit entwickeln kann. Es stellt das JK-Flip-Flop zwar eine besonders verbreitete, aber nicht die einzig mögliche funktionelle Abwandlung des RS-Flip-Flops dar. Ein besonders oft bei sog. Schieberegistern (s. Kapitel 8) benutzter Flip-Flop-Typ ist das D-Flip-Flop, das ebenfalls aus dem dynamisch angesteuerten RS-Flip-Flop abgeleitet werden kann, Bild 6/50b.

Das D-Flip-Flop besitzt nur einen externen Vorbereitungseingang D.

Das funktionelle Verhalten des D-Flip-Flops wird sofort verständlich, wenn man sich die schaltungstechnische Ableitung dieses Flip-Flop-Typs vom RS-Speicher vergegenwärtigt, Bild 6/50a.

Aus einem dynamisch angesteuerten RS-Flip-Flop wird ein D-Flip-Flop, wenn man das Vorbereitungssignal D dem Vorbereitungseingang S direkt und dem Vorbereitungseingang R negiert zuführt.

Durch diese Art der Vorbereitung wird erreicht, daß der am Vorbereitungseingang D anliegende Zustand mit dem nächsten 0L-Triggersignalwechsel bei T übernommen wird.

Verfolgen Sie bitte diese Art der Signalverarbeitung im Signal-Zeit-Plan nach Bild 6/51.

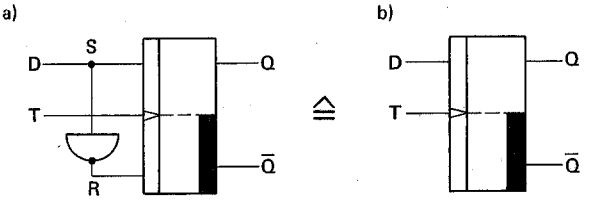


Bild 6/50. D-Flip-Flop (aus dem RS-Flip-Flop abgeleitet).

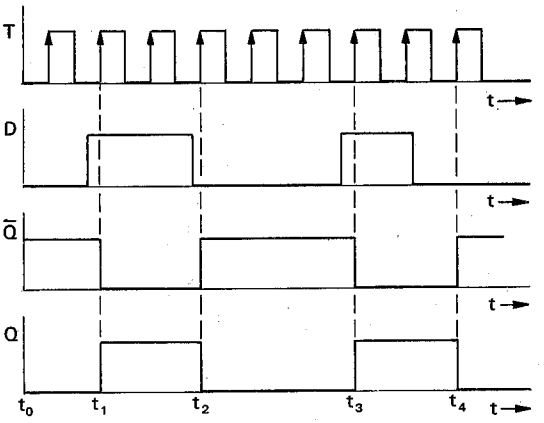


Bild 6/51. Signal-Zeit-Plan zum D-Flip-Flop nach Bild 6/50b.

Tabelle 6/3. Funktionstabelle zum D-Flip-Flop nach Bild 6/50b.
D_{t_n} Vorbereitungseingang vor dem Auftreten des Triggersignals
$Q_{t_{n+1}}$ Ausgangssignal nach dem Auftreten des Triggersignals

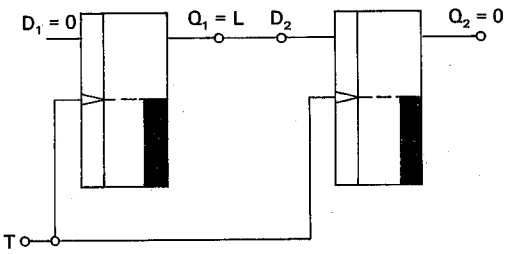
D_{t_n}	$Q_{t_{n+1}}$
0	0
L	L

In Tabelle 6/3 finden Sie die funktionellen Zusammenhänge eines D-Flip-Flops noch einmal tabellarisch dargestellt.

Ist z. B. zum Zeitpunkt t_n vor dem Eintreffen des 0L-Triggersignalwechsels der Zustand D_{t_n} = L, so wird nach erfolgter Triggerung das Flip-Flop gesetzt: $Q_{t_{n+1}}$ = L.

Übung 6/11 ?

Welchen Zustand nehmen die Flip-Flop-Ausgänge Q_1 und Q_2 nach dem nächstfolgenden 0-L-Signal-Wechsel auf der Taktleitung T ein?



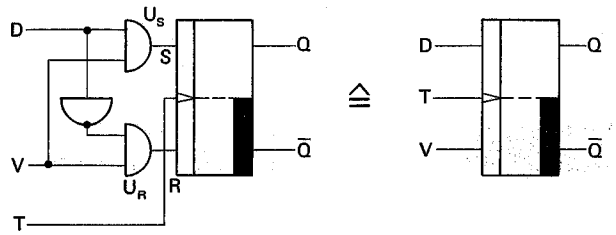


Bild 6/52. DV-Flip-Flop (aus dem RS-Flip-Flop abgeleitet).

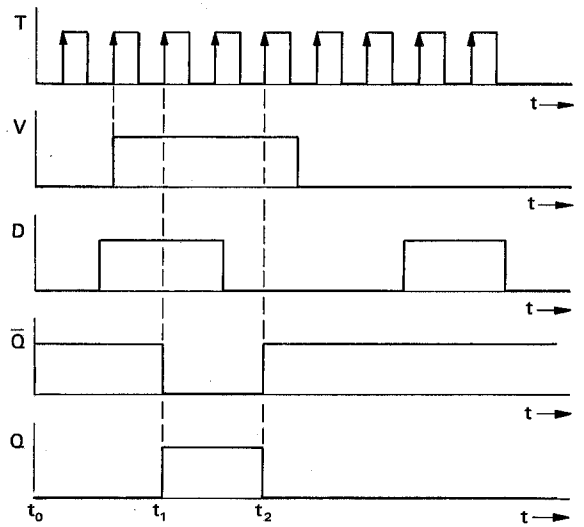


Bild 6/53. Signal-Zeit-Plan zum DV-Flip-Flop nach Bild 6/52.

V_{t_n}	D_{t_n}	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}
0	L	Q_{t_n}
L	0	0
L	L	L

Tabelle 6/4.
Funktionstabelle zum DV-Flip-Flop nach Bild 6/52.

Die Arbeitsweise des DV-Flip-Flops

Ein weiterer Flip-Flop-Typ ist das sog. DV-Flip-Flop. Es ist in seinem funktionellen Verhalten an das D-Flip-Flop angelehnt, nur besitzt es neben dem D-Eingang noch einen zweiten, zusätzlichen Vorbereitungseingang V.

Bild 6/52 gibt die schaltungstechnische Ableitung des D-Flip-Flops vom dynamisch angesteuerten RS-Flip-Flop wieder.

Dem Vorbereitungseingang S des RS-Flip-Flops wird eine UND-Stufe U_S vorgeschaltet, die die Eingänge D und V besitzt. Somit ergeben sich die logischen Beziehungen $S = U_S$ und $U_S = D \wedge V$.

Dem Vorbereitungseingang R des RS-Flip-Flops wird eine UND-Stufe U_R vorgeschaltet, die die Eingänge $\bar{D}$ und V besitzt. Damit ergeben sich die logischen Beziehungen $R = U_R$ und $U_R = \bar{D} \wedge V$.

Für den Fall, daß $V = 0$ ist, kann der Flip-Flop-Zustand nicht verändert werden. Beide UND-Stufen U_S und U_R sind gesperrt, so daß sich das Triggersignal nicht auswirken kann. Für den Fall, daß V = L ist, arbeitet das DV-Flip-Flop wie ein D-Flip-Flop. Das Flip-Flop wird in jedem Fall nach erfolgter Triggerung den Zustand des D-Eingangs übernehmen.

Die beschriebenen Verhältnisse sind dem Signal-Zeit-Plan nach Bild 6/53 zu entnehmen. Weiter finden Sie die funktionellen Verhältnisse noch einmal in Tabelle 6/4 zusammengefaßt.

Ist z. B. zum Zeitpunkt t_n das Vorbereitungssignal $V_{t_n} = 0$, so sind, unabhängig davon, ob auch $D_{t_n} = 0$ oder D_{t_n} = L ist, die Vorbereitungsbedingungen nicht erfüllt. Das Flip-Flop ändert seinen Zustand bei einem 0L-Signalwechsel an T nicht: $Q_{t_{n+1}} = Q_{t_n}$.

Ist dagegen zum Zeitpunkt t_n das Vorbereitungssignal V_{t_n} = L, so reagiert das DV-Flip-Flop wie ein D-Flip-Flop. Zum Zeitpunkt t_{n+1} hat der Flip-Flop-Ausgang Q den Zustand des D-Vorbereitungseinganges übernommen.

Ansteuerungsvarianten

Sehr viele der industriell ausgeführten, dynamisch angesteuerten Flip-Flop-Bausteine werden mit L0-Signalflanken getriggert. Bisher gingen wir davon aus, daß z. B. ein RS-Flip-Flop mit L0-Signalflanken am Eingang T nur dann gesetzt werden kann, wenn die Vorbereitung mit $S = 0$ und R = L erfolgt ist.

Es gibt nun Gründe arbeits-psychologischer und technischer Natur, die bedingen, daß die Vorbereitung von Flip-Flop-Eingängen grundsätzlich mit L-Signalen zu erfolgen habe. In unserem Beispiel müßte somit auch das L0-flankengetriggerte RS-Flip-Flop mit S = L und $R = 0$ vorbereitet werden (so, wie dies ja auch bei dem 0L-flankengetriggerten Typ erfolgt).

Ein solches funktionelles Verhalten erzielt man, wenn man den Vorbereitungseingängen S und R jeweils eine Negation vorschaltet.

In vielen Fällen werden aber solche schaltungstechnische Maßnahmen bereits im Speicherbaustein selbst durchgeführt. Sie sind dann von außen nicht mehr direkt zu erkennen, werden aber von dem jeweiligen Hersteller in Form von Schaltungsvorschriften angegeben.

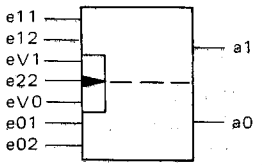


Bild 6/54. Schaltzeichen einer industriell ausgeführten Speicherstufe, die sowohl statisch (e_{11}, e_{12}, e_{01}, e_{02}) wie auch dynamisch (e_{22} in Verbindung mit e_{v1}, e_{v0}) angesteuert werden kann.

Dieses Beispiel zeigt, daß die Darstellung der Eingänge in der Praxis nicht immer auch den DIN-Vorstellungen entspricht.

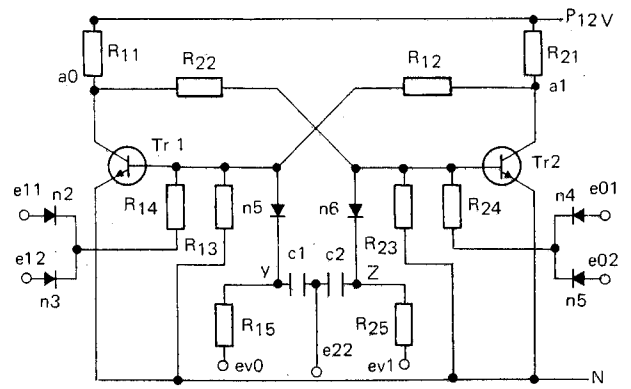


Bild 6/55. Schaltung der Speicherstufe nach B 6/54 statische Ansteuerung:

Setzen über e_{11}, e_{12}	⇒	a_0 = 0V	a_0 = 0
		a_1 = + 12V	a_1 = L
Löschen über e_{01}, e_{02}	⇒	a_0 = + 12V	a_0 = L
		a_1 = 0V	a_1 = 0

Dynamische Ansteuerung über Dynamik-Vorsatz (n_5, n_6, c_1, c_2, R_{15}, R_{25})
Erst wenn die statischen Setz- oder Löscheingänge 0-Signal führen oder nicht angeschlossen sind, ist der dynamische Eingang funktionsfähig. Ein L0-Signalwechsel wird am Eingang e_{22} nur dann wirksam, wenn der entsprechende Vorbereitungseingang e_{v0} bzw. e_{v1} auf 0-Signal liegt.

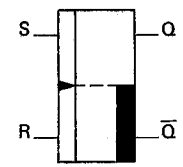
In Bild 6/56 werden alle bisher vorgestellten Flip-Flops diesmal mit L-Signal vorbereitet und mit L0-Signalflanken getriggert. Wie Sie der beigefügten Tabelle entnehmen können, wird hierdurch das grundsätzliche funktionelle Verhalten der Flip-Flops nicht verändert.

Bild 6/57 zeigt einen industriellen Flip-Flop-Typ, der sowohl statisch als auch dynamisch angesteuert werden kann. Die Eingänge A und D (hier wurden die Flip-Flop-Eingänge in alphabetischer Reihenfolge benannt) wirken direkt, oder wie man auch sagt, statisch auf die Ausgänge Q und $\overline{Q}$.

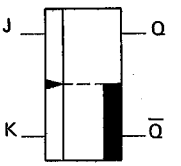
Die Vorbereitungseingänge B und C wirken nur in Verbindung mit dem Triggereingang T. Wird dieser Flip-Flop-Typ gleichzeitig statisch (über A, D) und dynamisch (über B, T, C) angesteuert, so hat die statische Ansteuerung Vorrang, weil sie über die Triggerzeit hinaus wirkt.

In Bild 6/58 sind in jedem der Vorbereitungseingänge je eine UND-Stufe integriert. Die Vorbereitungsbedingungen sind nur dann erfüllt, wenn die entsprechende UND-Stufe ausschließlich L-Signale an den Eingängen führt.

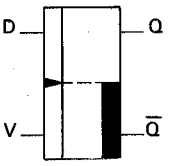
In Bild 6/59 werden jeder Vorbereitungsseite zwei Vorbereitungssignale zugeführt. Diese beiden Signale sind miteinander ODER-verknüpft. Hier bedarf es also nur eines L-Signals auf der Vorbereitungsseite, um die Vorbereitungsbedingung zu erfüllen.



S	R	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}
0	L	0
L	0	L
L	L	X



J	K	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}
0	L	0
L	0	L
L	L	$\overline{Q_{t_n}}$



V	D	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}
0	L	Q_{t_n}
L	0	0
L	L	L

Bild 6/56. Darstellungsformen industrieller Ansteuerungs-Varianten der mit L0-Signalflanken angesteuerten RS-, JK- und DV-Flip-Flops.

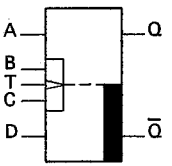


Bild 6/57.

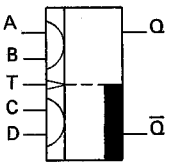


Bild 6/58.

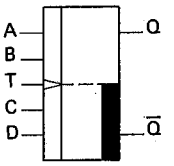


Bild 6/59.

Darstellungsformen industrieller Flip-Flop-Varianten.

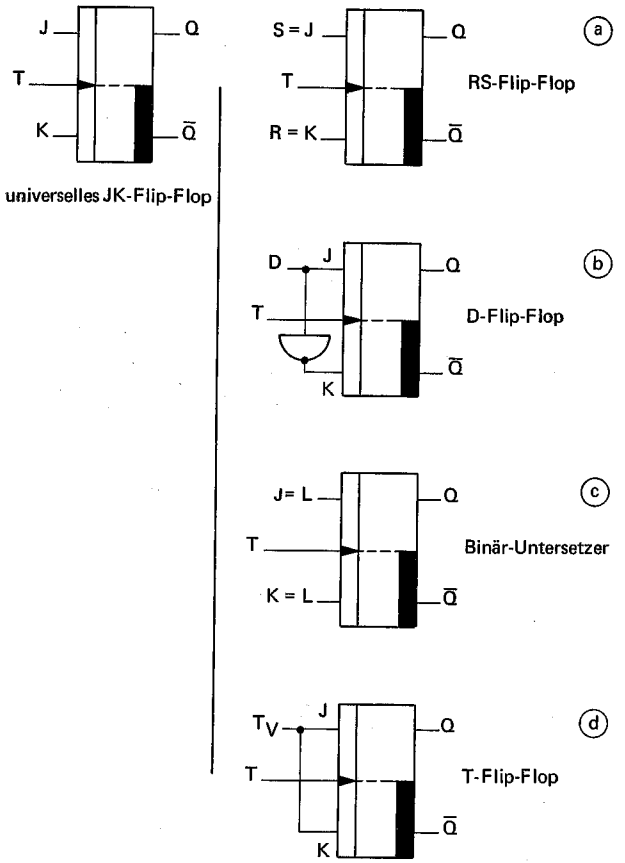


Bild 6/60. Das JK-Flip-Flop ist ein universell verwendbarer Flip-Flop-Typ.

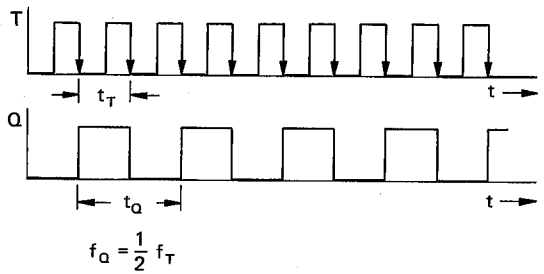


Bild 6/61. Signal-Zeit-Plan des als Binär-Untersetzers geschalteten JK-Flip-Flops (nach Bild 6/60c).

Universelle Flip-Flops

Von den bisher besprochenen Flip-Flop-Typen kommen dem D-Flip-Flop (bzw. dem DV-Flip-Flop) und besonders dem JK-Flip-Flop besondere Bedeutung zu. Beide sind universell einsetzbare Speicherglieder, mit deren Hilfe bei relativ geringem schaltungstechnischem Aufwand andere bekannte Flip-Flop-Funktionen erzielt werden können.

Wir wollen uns an dieser Stelle auf die Schaltungsvarianten des JK-Flip-Flops beschränken.

Bild 6/60 a: RS-Flip-Flop-Funktion aus JK-Flip-Flop abgeleitet.
Der J-Eingang wird zum S-Eingang, der K-Eingang wird als R-Eingang benutzt.

Bild 6/60 b: D-Flip-Flop-Funktion aus JK-Flip-Flop abgeleitet.
Der J-Eingang wird zum D-Eingang, dem K-Eingang wird das D-Signal negiert zugeführt.

Bild 6/60 c: Binär-Untersetzer-Funktion aus JK-Flip-Flop abgeleitet.
Die Eingänge J und K werden mit Dauer-L-Signal belegt. Nach dem uns bereits bekannten, hierdurch erzielten funktionellen Verhalten ändert sich der Ausgangszustand Q des Speichers mit jedem L0-Signalwechsel.
Da sich bei periodischer Ansteuerung, Bild 6/61, des Triggereingangs T am Ausgang Q eine periodische Signalfolge mit doppelter Periodendauer ergibt, muß das Flip-Flop die Eingangsfrequenz auf die Hälfte herabgesetzt haben.

Bild 6/60 d: Eine für uns neue Schaltungsvariante stellt das T-Flip-Flop dar. Das T-Flip-Flop besitzt einen Triggereingang T wie alle anderen dynamisch angesteuerten Flip-Flop-Arten auch. Zusätzlich aber wird das T-Flip-Flop über einen Taktsignaleingang T_V vorbereitet.

Für den Fall, daß $T_V = 0$ ist, bleibt der Flip-Flop-Zustand auch bei Ablauf eines Triggersignals *T* erhalten. Ist dagegen $T_V = L$, so wird das Flip-Flop mit jedem L0-Signalwechsel am Triggereingang T umgesteuert.

Wird T_V mit L beschaltet, so verhält sich das T-Flip-Flop wie ein Binär-Untersetzer. Über T_V kann dieser Binär-Untersetzer gesperrt bzw. freigegeben werden.

$T_{V_{t_n}}$	Q_{t_n+1}
0	Q_{t_n}
L	$\bar{Q}_{t_n}$

Das Master-Slave-Flip-Flop

Bisher erschienen uns die Informationsaufnahme und die Informationsrepräsentation die typischen Probleme zu sein, die von Speichersystemen gelöst werden müssen. Es gibt aber im Bereich der digitalen Informationsverarbeitung darüber hinaus auch die Notwendigkeit, eine Information schrittweise z.B. innerhalb einer Speicherkette weiterzuführen. Eine solche Speicherkette, auch Register genannt, ist in Bild 6/62 dargestellt.

Die in unserem Beispiel vorgegebene Speicherkette besteht aus vier Speichern. Der erste, der dritte und der vierte Speicher enthalten je eine Null, der zweite Speicher enthält ein L, Bild 6/62a.

Über eine allen vier Speichern gemeinsame Leitung werden die Speicher des Registers mit sog. Schiebetakten angesteuert, die dafür sorgen, daß nach Ablauf eines Taktes alle Speicherinhalte um genau eine Stelle nach rechts verschoben sind, Bild 6/62a.

Was hat bei dieser Art der Informationsverarbeitung im einzelnen zu geschehen, damit die vorgegebene Information mit Ablauf eines Schiebetaktes um eine Stelle nach rechts weitergereicht wird?

In Bild 6/63 werden die Flip-Flops FF2, FF3 und FF4 aus der Schaltung der vorherigen Darstellung (Bild 6/62) herausgezogen und ausführlicher dargestellt.

Mit dem nächsten Schiebetakt muß in dieser Anordnung z.B. der Speicher FF3 einerseits seinen bisherigen Speicherinhalt $Q_3 = 0$ an den nachfolgenden Speicher FF 4 abgeben, andererseits muß er aber auch den Inhalt des Speichers FF2 mit Q_2 = L übernehmen. Registrieren wir vor dem Eintreffen des Schiebetaktes die Flip-Flop-Ausgangszustände Q_2 = L und $Q_3 = 0$, so registrieren wir nach Ablauf des Schiebetaktes $Q_2 = 0$ und Q_3 = L,s. Bild 6/62b.

Es liegt nahe, dieses Problem der Informationsweitergabe mit einfachen, statisch angesteuerten RS-Speichern lösen zu wollen, wie dies in Bild 6/64 dargestellt ist.

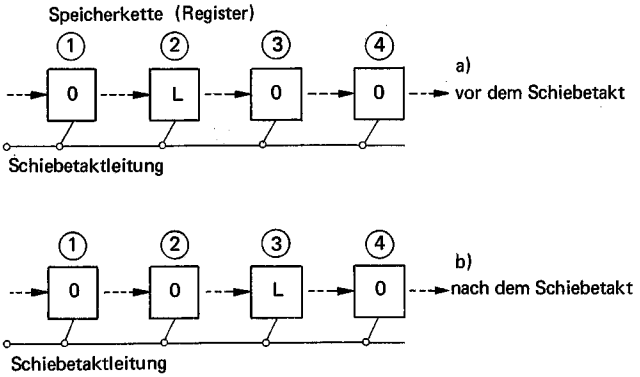


Bild 6/62. Prinzip des Schieberegisters (die eingetragenen Pfeile geben die Informationsflußrichtung an).

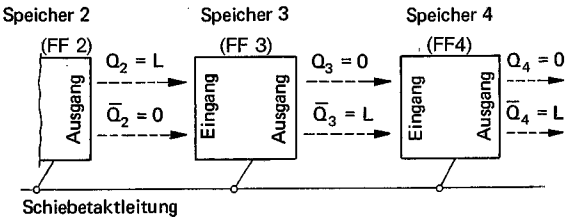


Bild 6/63. Prinzip des Schieberegisters.
Der jeweils nachfolgende Speicher hat mit dem nächsten Schiebetakt die Information des Vorspeichers zu übernehmen. Die eingetragenen Pfeile geben die Informationsflußrichtung an.

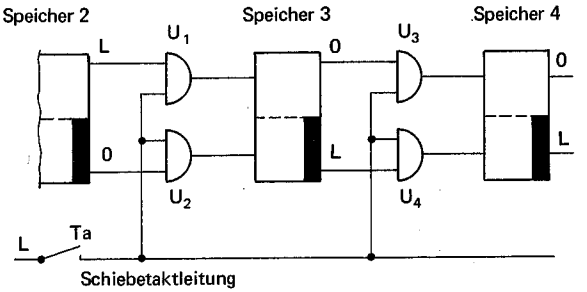


Bild 6/64. Mit statischen RS-Speichern ist das Problem der kontrollierten Informationsweitergabe in der dargestellten Form nicht lösbar.

In diesem Schaltungsentwurf werden die Schiebetakte über den Taster T_a eingegeben und den UND-Stufen U_1, U_2, U_3 und U_4 zugeführt. Solange der Taster T_a nicht geschlossen ist, sind die UND-Bedingungen in keinem Falle erfüllt und die nachfolgenden Speicher werden von dem jeweils vorausgehenden Speicher nicht angesteuert.

Was geschieht nun innerhalb der Schaltung, wenn der Taster T_a geschlossen wird?

Zunächst wird die UND-Stufe U_1 durchgeschaltet und daraufhin der Speicher FF3 – ordnungsgemäß – gesetzt. Gehen wir praxisnahe davon aus, daß die Setzzeit eines Speichers kürzer als die Taktzeit des Schiebetaktes ist, so wird nach dem Setzen des Speichers FF3 kurz darauf auch der Speicher FF4 über die UND-Stufe U_3 gesetzt. Dies ist dann schon nicht mehr in Ordnung!

Nach Ablauf des Schiebetaktes erhalten wir statt der erwünschten Speicherzustände Q_3 = L und Q_4 = 0 die Zustände Q_3 = L und Q_4 ebenfalls = L. Wie man sieht, läßt sich mit einfachen RS-Flip-Flops das vorgegebene Schaltungsproblem in der vorgestellten Schaltungsvariante nicht lösen.

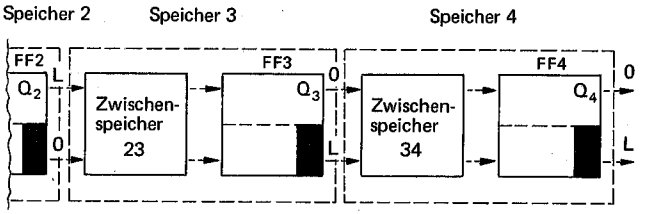


Bild 6/65. Das Problem der kontrollierten Informationsweitergabe innerhalb eines Registers kann mit Hilfe von Zwischenspeichern gelöst werden.

Die prinzipielle Lösung des Problems gibt Bild 6/65 an. Zwischen den eigentlichen Informationsspeichern FF2 und FF3 bzw. FF3 und FF4 wurde jeweils ein Zwischenspeicher eingefügt, der dem nachfolgenden Informationsspeicher zugeordnet ist und diesen zu einem „Zweispeicher-Flip-Flop" macht. Diese Zwischenspeicher sorgen dafür, daß die durchzuführenden Informationsverarbeitungsphasen (Informationsabgabe, Informationsaufnahme) zeitlich sorgfältig getrennt werden.

Bei solchen Hilfsspeichern, die zur Koordination der Informationsverarbeitung benötigt werden, unterscheiden wir statische und dynamische Systeme.

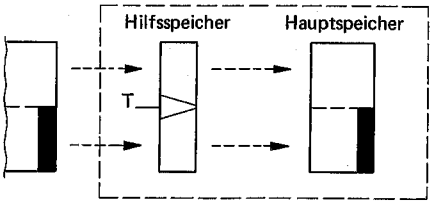


Bild 6/66. Zwei-Speicher-Flip-Flop mit dynamischem Zwischenspeicher.

Bild 6/66 gibt den prinzipiellen Aufbau eines Zweispeicher-Flip-Flops wieder, dessen Zwischenspeicher ein dynamischer Hilfsspeicher ist. Diese Art des Hilfsspeichers haben wir bereits unter der Bezeichnung „Vorbereitbarer Dynamikvorsatz" kennengelernt.

Wie können nun mit Hilfe solcher dynamischer Zwischenspeicher die Speichergliedfunktionen „Informationsabgabe" und „Informationsaufnahme" eindeutig getrennt werden?

Dazu dient das besondere Zeitverhalten des Dynamik-Vorsatzes. Er gibt an seinem Ausgang nur dann -kurzfristig- ein L-Signal ab, wenn an seinem vorbereitenden Eingang hinreichend lange ein L-Signal angelegen hat und eine auslösende Triggerung hinzukommt. Die Vorbereitung muß also zeitlich vor der Triggerung liegen. Das vorbereitende Signal darf sich sogar zum Zeitpunkt der Triggerung ändern. Was am vorbereitenden Eingang geschieht, wirkt sich auf das Verhalten des Dynamik-Vorsatzes eben erst mit einer gewissen Zeitverzögerung aus.

(Beachten Sie hierzu auch die Übungen zu diesem Kapitel.)

Übung 6/12 ?

Welche Panne muß vermieden werden, wenn binäre Information mittels eines Zeittaktes durch eine Flip-Flop-Kette geschoben wird?

Wenn also in Bild 6/67 über T_a eine Triggerung erfolgt, so gibt der linke Dynamik-Vorsatz am oberen Ausgang, der rechte aber am unteren kurzfristig ein L-Signal ab. Speicher 3 wird dadurch gesetzt, Speicher 4 wird rückgestellt. Durch das Setzen von Speicher 3 erscheint am oberen Eingang des rechten Dynamik-Vorsatzes -ganz kurz nach der Triggerung- ein L-Signal. Wegen des zeitverzögernden Charakters des vorbereitenden Eingangs kann dieses L aber erst bei der nächsten Triggerung zur Wirkung kommen. Mit einem Triggerungsimpuls wird also die 0 aus Speicher 3 weitergegeben nach Speicher 4 und gleichzeitig von Speicher 2 ein L nach Speicher 3 übernommen.

Bild 6/68 zeigt den Aufbau eines Schieberegisters, bei dem die dynamischen Zwischenspeicher in die Flip-Flops integriert sind.

Im Grunde besteht diese Schaltung aus nichts anderem als einer Kette von dynamisch angesteuerten RS-Speichern.

Der Nachteil solcher dynamisch angesteuerter Speicher ist, daß sehr hohe Anforderungen an die Signalflankensteilheit der Schiebetakte gestellt werden, Bild 6/69. Sind solche steilen Schiebetaktflanken in einer Anlage nicht gewährleistet, so muß man Zweispeicher-Flip-Flops mit statischen Zwischenspeichern verwenden.

Bild 6/70 gibt den prinzipiellen Aufbau eines Zweispeicher-Flip-Flops wieder, dessen Zwischenspeicher statisch angesteuert wird. Auch hier wird der Hilfsspeicher wieder dem Hauptspeicher zugeordnet.

Bild 6/71 zeigt den vollständigen Aufbau eines aus zwei statischen RS-Speichern und einer Steuerlogik bestehenden Systems.

Nehmen wir an, daß die Speicherausgänge Q_M und Q_S 0-Signal führen, das Speichersystem aber mit dem nächsten Schiebetakt gesetzt werden soll. Dies setzt die Speichereingangszustände S = L und R = 0 voraus.

Übung 6/13 ?

Welche Probleme treten innerhalb eines aus Flip-Flops aufgebauten Registers auf, wenn binär-codierte Informationen weitergeschoben werden?

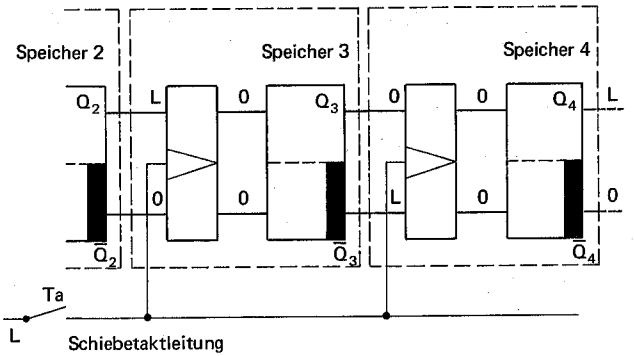


Bild 6/67. Prinzip der kontrollierten Informationsweitergabe in einem Register mit dynamischen Zwischenspeichern.

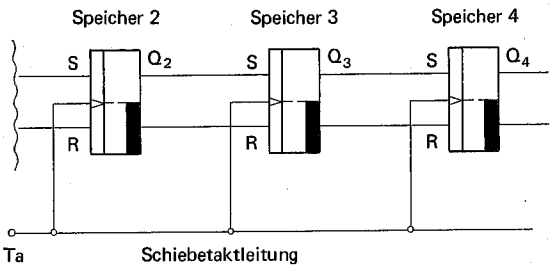


Bild 6/68. Registerschaltung mit dynamisch angesteuerten RS-Speichern.

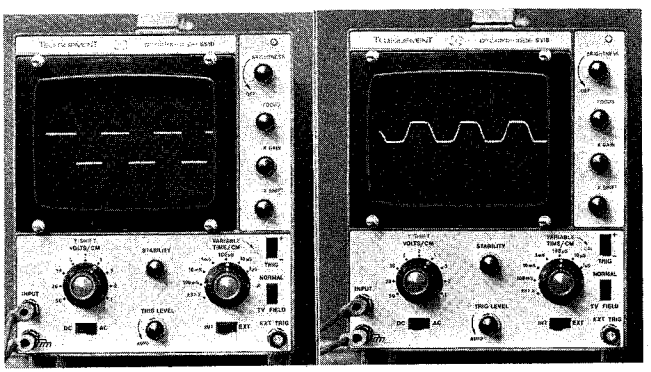


Bild 6/69. Oszillogramme binärer Signale.
Links: Signale mit hoher Flankensteilheit.
Rechts: Signale mit geringer Flankensteilheit.

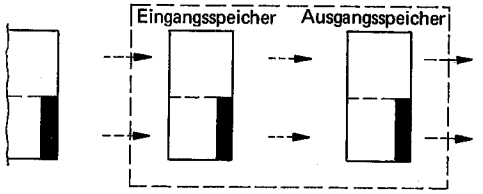


Bild 6/70. Zwei-Speicher-Flip-Flop mit statischem Zwischenspeicher.

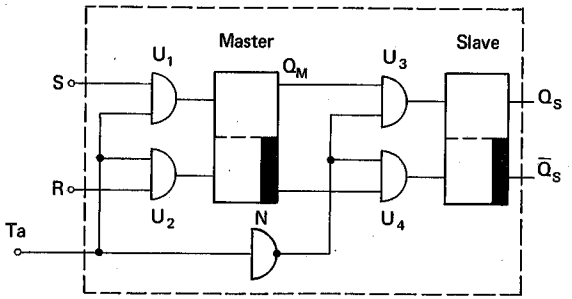


Bild 6/71. Zwei-Speicher-Flip-Flop (Master-Slave-Typ) aus zwei statisch angesteuerten RS-Speichern.

Nehmen wir weiter –praxisgerecht– an, daß die Durchschaltzeit einer Logikstufe kürzer ist als die einer Speicherstufe. Wenn nun das Schiebetaktsignal von 0 nach L wechselt, so werden die UND-Stufen U_3 und U_4 über die Negation N gesperrt, bevor der Eingangsspeicher gesetzt wird. Erst nachdem das Schiebetaktsignal von L nach 0 wechselt, wird die Sperre der UND-Stufe U_3 und U_4 gelöst und der Inhalt des Eingangsspeichers vom Ausgangsspeicher übernommen. (Beachten Sie, daß dabei U_1 und U_2 gesperrt sind, so daß eine mögliche Änderung der Signalzustände an den Speichereingängen R und S nicht ausgewertet wird.)

Diese zeitliche Trennung der Informationsübernahme in den Eingangsspeicher von der Weitergabe der Information an den Ausgangsspeicher gewährleistet die eindeutige funktionelle Koordination der Speicherfunktionen „Informationsabgabe" und „Informationsaufnahme".

In integrierten elektronischen Schaltungen hat man beide statische Speicher des Zweispeicher-Flip-Flops und deren Steuerlogik zu einer einzigen Baugruppe zusammengefaßt, die dann symbolisch wie ein einziger Speicher dargestellt wird. Da der Eingangsspeicher dem Ausgangsspeicher seinen Zustand aufzwingt, und sich dabei ein „Herr/Diener-Verhältnis" einstellt, hat man den Eingangsspeicher „Master" und den Ausgangsspeicher „Slave" genannt. Die ganze Funktionseinheit trägt die Bezeichnung „Master-Slave-Flip-Flop". Der Vorteil solcher Master-Slave-Flip-Flops ist, daß die Funktionsfähigkeit nicht mehr von der Steilheit der Signalflanken abhängt, wie dies bei dynamischen Zweispeicher-Systemen der Fall ist.

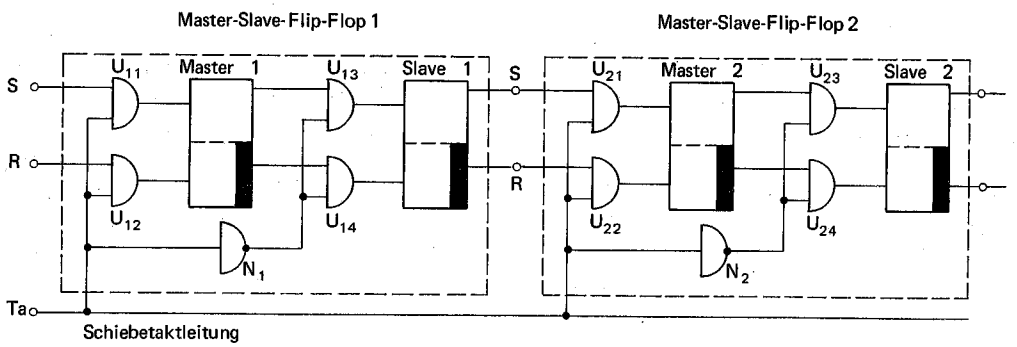


Bild 6/72.
Prinzip der kontrollierten Informationsweitergabe in einem aus statisch angesteuerten Speichern (Master-Slave-Flip-Flops) aufgebauten Register.

Anhand von Bild 6/72 können Sie die zeitliche Trennung von „Informationsabgabe" und „Informationsaufnahme" nochmals an zwei als Register hintereinandergeschalteten RS-Master-Slave-Flip-Flops durchdenken.

Bild 6/73 zeigt den Aufbau eines JK-Master-Slave-Flip-Flops. Durch die Rückkopplung der Slave-Ausgänge auf die UND-Stufen U_1 und U_2 ist auch für den Fall J = L und K = L eine eindeutige Speicherstellung gewährleistet.

Übung 6/14 ?

Welche Vorteile bietet das Master-Slave-Flip-Flop mit statischem Zwischenspeicher gegenüber den dynamisch angesteuerten Flip-Flops?

Frequenzteiler-Schaltungen

Immer dann, wenn eine vorgegebene Signalfrequenz auf einen niedrigeren Wert herabgesetzt werden muß, bedient man sich sog. Frequenzteiler. Sie werden z. B. eingesetzt, wenn die Schwingfrequenz des Quarzes einer quarzgesteuerten Armbanduhr auf die Sekundenteilung herabgesetzt werden soll.

Im nachfolgenden Abschnitt werden mehrere Frequenzteiler-Schaltungen vorgestellt, die mit JK-Flip-Flops aufgebaut sind.

Der hier verwendete JK-Flip-Flop-Typ, Bild 6/74, wird mit L0-Signalflanken getriggert und jeweils mit entsprechenden L-Signalen vorbereitet.

Im Fall J = 0, K = 0 ändert sich der Flip-Flop-Zustand beim Einlaufen von L0-Triggersignalflanken nicht.

Im Fall J = L, K = 0 ergeben sich nach erfolgter Triggerung die Flip-Flop-Zustände Q = L und $\bar{Q}$ = 0.

Im Fall J = 0, K = L ergeben sich nach erfolgter Triggerung die Zustände Q = 0 und $\bar{Q}$ = L.

Im Fall J = L, K = L wird das JK-Flip-Flop mit jedem L0-Triggersignalwechsel umgesteuert.

Bild 6/75 zeigt einen Frequenzteiler mit dem Teilerverhältnis $f_{Q_A} : f_T = 1 : 2$. Die Vorbereitungseingänge J und K bleiben ständig mit L-Signal vorbereitet. Der Flip-Flop-Ausgang Q_A, der gleichzeitig Frequenzteiler-Ausgang ist, ändert mit jedem Triggersignalwechsel von L auf 0 seinen Zustand.

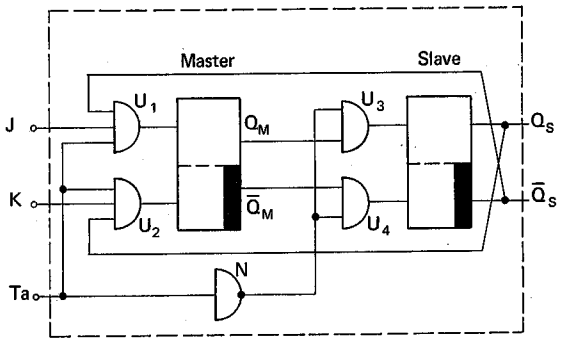
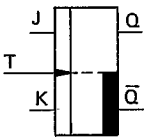
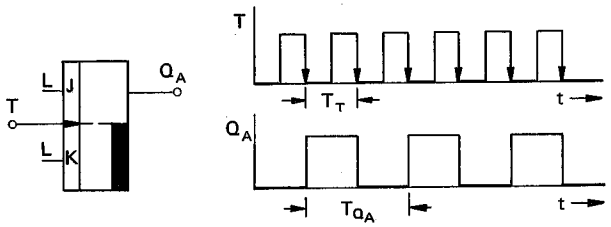


Bild 6/73. JK-Master-Slave-Flip-Flop (aus statisch angesteuerten RS-Speichern abgeleitet).



J	K	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	Q_{t_n}
L	0	L
0	L	0
L	L	$\bar{Q}_{t_n}$

Bild 6/74. JK-Flip-Flop mit L0-Flankensteuerung und L-Signalvorbereitung.



$\frac{f_{Q_A}}{f_T} = \frac{1}{2}$ $\qquad T_{Q_A} = 2\,T_T$

Bild 6/75. Frequenzteiler, $f_{Q_A} : f_T = 1 : 2$.

Da die Periodendauer des Ausgangssignals Q_A doppelt so lang ist wie die des Eingangssignals T, erfolgt eine Halbierung der Eingangsfrequenz.

Bild 6/76 gibt einen Frequenzteiler mit dem Frequenzteilerverhältnis $f_{Q_A} : F_T = 1 : 3$ wieder. Im Grundzustand sind die beiden Flip-Flops zurückgestellt: $Q_1 = 0$, $Q_2 = 0$, und somit auch $Q_A = 0$.

Mit dem ersten L0-Triggersignalwechsel wird FF1 wegen $J_1 = \bar{Q}_2$, $\bar{Q}_2$ = L gesetzt. FF2 bleibt wegen $J_2 = Q_1$, $Q_1 = 0$ in Ruhelage.

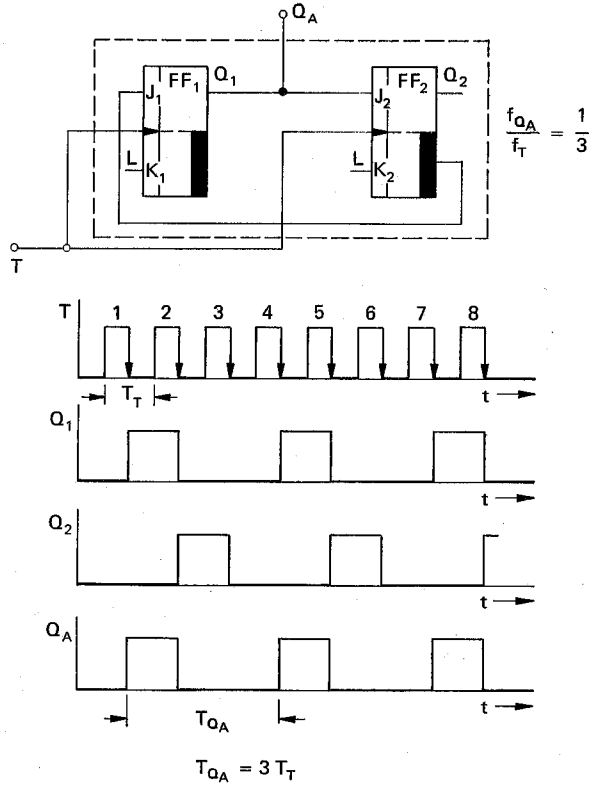


Bild 6/76. Frequenzteiler, $f_{Q_A} : f_T = 1 : 3$.

Mit dem zweiten L0-Triggersignalwechsel wird FF1 wegen der Flip-Flop-Vorbereitung K_1 = L zurückgestellt. FF2 wird wegen $J_2 = Q_1$, Q_1 = L (vor der Veränderung) gesetzt.

Mit dem dritten L0-Triggersignalwechsel wird FF2 wegen K_2 = L zurückgestellt. FF1 wird wegen $J_1 = \bar{Q}_2$, $\bar{Q}_2 = 0$ (vor der Veränderung) nicht gesetzt.

Nun ist der Grundzustand $Q_1 = 0$ und $Q_2 = 0$ wieder erreicht, so daß mit dem vierten L0-Triggersignalwechsel das funktionelle Spiel erneut abläuft.

Da die Periodendauer des Ausgangssignals Q_A dreimal so lang ist wie die des Eingangssignals T, erfolgt eine Herabsetzung der Ausgangsfrequenz auf ein Drittel der Eingangsfrequenz.

Bild 6/77 zeigt einen Frequenzteiler mit dem Teilerverhältnis $f_{Q_A} : f_T = 1 : 5$. Im Grundzustand befinden sich die drei Flip-Flops in Ruhelage: $Q_1 = 0$, $Q_2 = 0$, $Q_3 = 0$, und somit auch $Q_A = 0$.

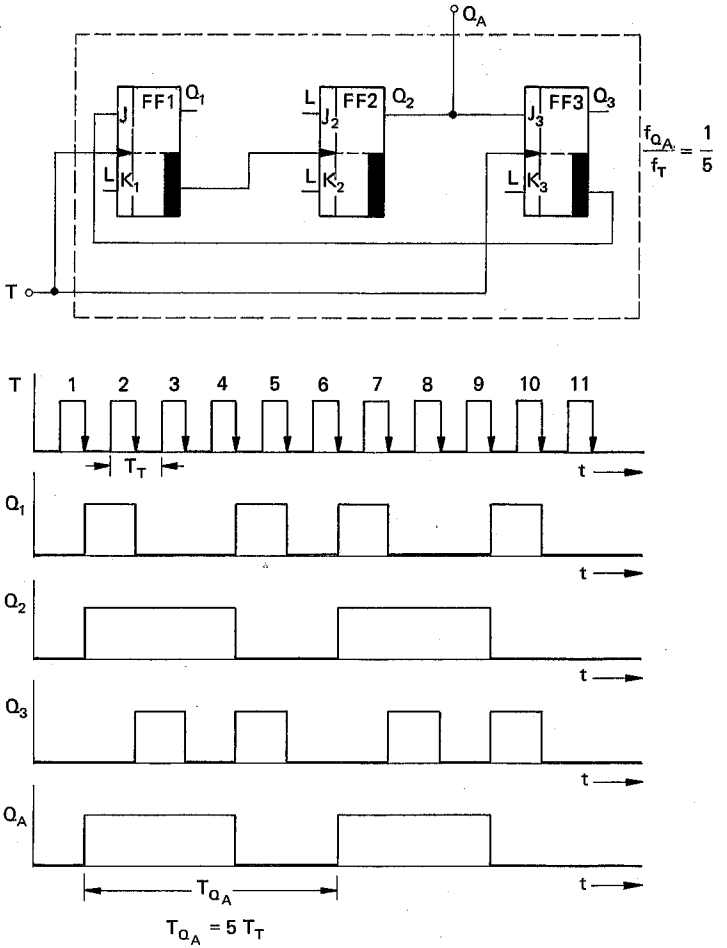
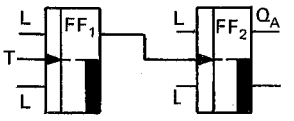


Bild 6/77. Frequenzteiler, $f_{Q_A} : f_T = 1 : 5$.

Übung 6/15 ?

Welches Frequenzteilerverhältnis wird mit nachfolgender Schaltung erzielt?



Mit dem ersten L0-Triggersignalwechsel wird FF1 wegen $J_1 = \bar{Q}_3$, $\bar{Q}_3$ = L gesetzt. Da FF2 dauernd mit J_2 = L und K_2 = L vorbereitet ist, wird Flip-Flop FF2 wegen der Veränderung des Ausgangszustandes von $\bar{Q}_1$ von L nach 0 gesetzt. FF3 bleibt wegen $J_3 = Q_2$, Q_2 = 0 (vor der Veränderung) in Ruhelage.

Mit dem zweiten L0-Triggersignalwechsel wird FF1 wegen K_1 = L zurückgestellt. Der Signalwechsel bei $\bar{Q}_1$ von 0 auf L bewirkt bei FF2 keine Veränderung. Das Flip-Flop FF3 wird wegen $J_3 = Q_2$, Q_2 = L gesetzt.

Mit dem dritten L0-Triggersignalwechsel wird FF3 wegen K_3 = L zurückgestellt. FF1 wird nicht gesetzt, da $J_1 = \bar{Q}_3$, $\bar{Q}_3$ = 0 ist (vor der Veränderung). FF2 wird ebenfalls nicht angesteuert und bleibt gesetzt.

Mit dem vierten L0-Triggersignalwechsel wird FF1 wieder gesetzt ($J_1 = \bar{Q}_3$, $\bar{Q}_3$ = L). Durch den Signalwechsel an $\bar{Q}_1$ wird FF2 zurückgestellt. FF3 wurde erneut gesetzt, da $J_3 = Q_2$, Q_2 = L (vor der Veränderung).

Mit dem fünften L0-Triggersignalwechsel werden FF1 und FF3 zurückgestellt. Somit ist die Ausgangsposition wieder erreicht. Da die Periodendauer des Ausgangssignals fünfmal so lange ist wie die des Eingangssignals T, erfolgt eine Herabsetzung der Ausgangsfrequenz auf ein Fünftel des Eingangssignals.

So wie sich Frequenzteiler-Schaltungen für die Teilerverhältnisse 1 : 2, 1 : 3 und 1 : 5 aufbauen lassen, so lassen sich auch Frequenzteiler für alle anderen ganzzahligen Verhältnisse realisieren. Durch die Hintereinanderschaltung von Frequenzteilereinheiten erzielt man neue Frequenzteilerverhältnisse, Bild 6/78. So ergibt z. B. die Hintereinanderschaltung eines Frequenzteilers 1 : 3 mit einem Frequenzteiler 1 : 5 das Gesamt-Frequenzteilerverhältnis 1 : 15.

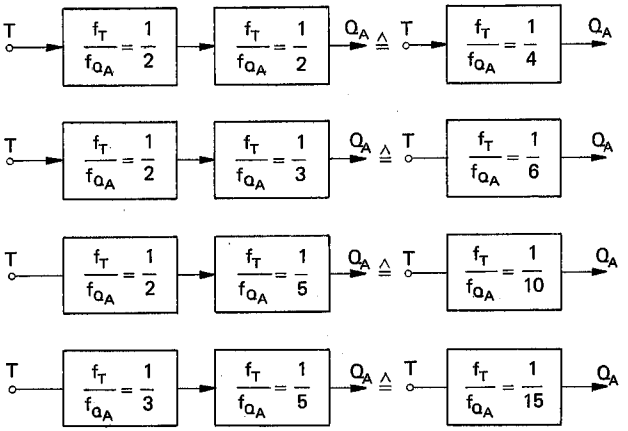


Bild 6/78. Frequenzteiler hoher Frequenzteilerverhältnisse lassen sich aus Frequenzteiler niedriger Frequenzteilerverhältnisse zusammensetzen.

Bild 6/79 zeigt eine Frequenzteiler-Schaltung, mit deren Hilfe die Netzfrequenz von 50 Hz auf die Sekundenteilung herabgesetzt werden kann. Die Signalverarbeitung innerhalb dieser Schaltung ist nicht mehr so einfach nachzuvollziehen. Die Schaltungsanalyse bietet jedoch eine Übungsmöglichkeit, die Sie vielleicht zu einem späteren Zeitpunkt nutzen möchten.

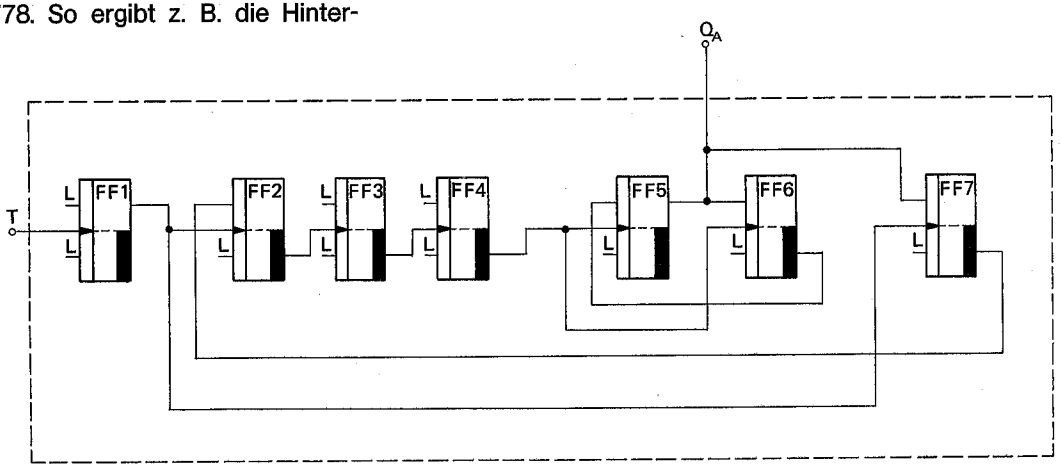


Bild 6/79. Frequenzteiler, $f_{Q_A} : f_T = 1 : 50$.
Mit Hilfe dieses Frequenzteilers läßt sich die Sekundenteilung aus der Netzfrequenz 50 Hz ableiten.

Beispiele für den Einsatz von binären Speicherelementen

Die Flip-Flops gehören neben den Logik-Gliedern zu den verbreitetsten Funktionselementen der Digitaltechnik. Ohne die schaltungstechnische Verwendung von Flip-Flops lassen sich weder moderne Zähl- noch Registereinrichtungen aufbauen.

Da diese beiden wichtigen Anwendungsbereiche der binären Speicherelemente in speziellen Kapiteln dieses Buches ausführlich behandelt werden, seien hier zum Abschluß des Kapitels 6 einige Anwendungsbeispiele aus der Steuerungstechnik vorgestellt.

Übung 6/16

Beschreiben Sie in Worten die Funktionsweise der Schaltungen in

a) Bild 6/80,
b) Bild 6/81,
c) Bild 6/82,
d) Bild 6/83 und
e) Bild 6/84.

(Die Lösungen sollten Sie der Reihe nach einsehen.)

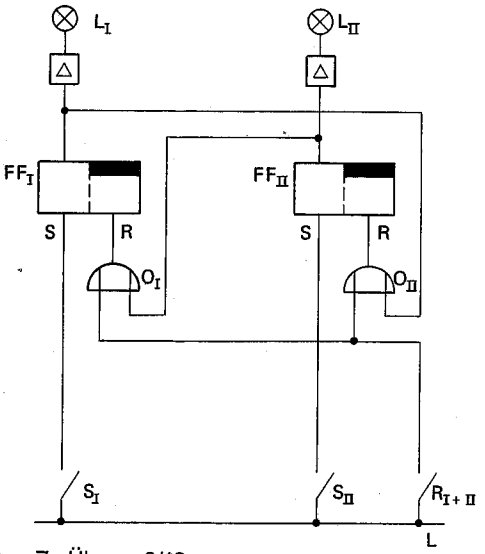


Bild 6/80. Zu Übung 6/16a.

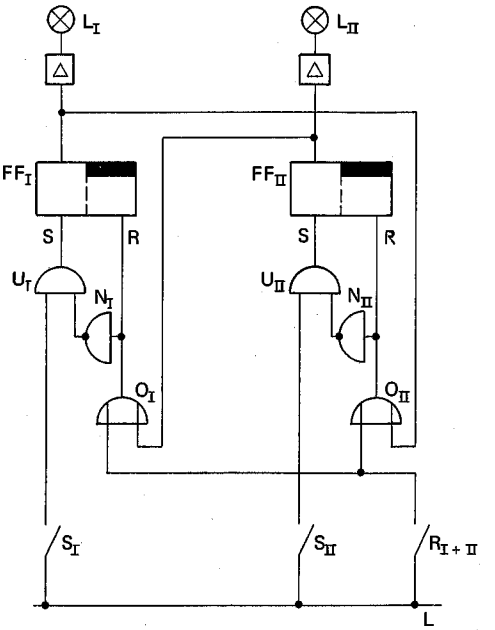


Bild 6/81. Zu Übung 6/16b.

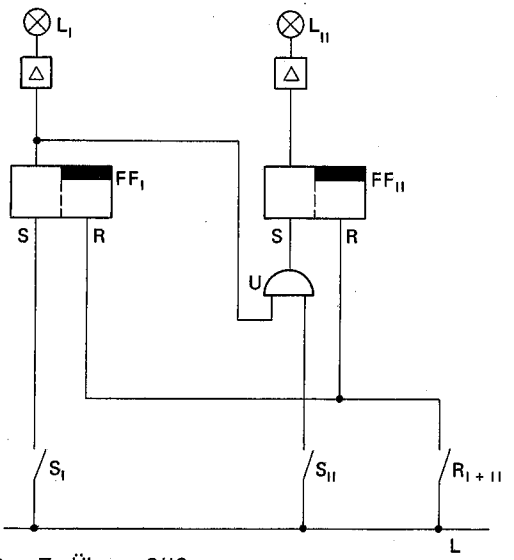


Bild 6/82. Zu Übung 6/16c.

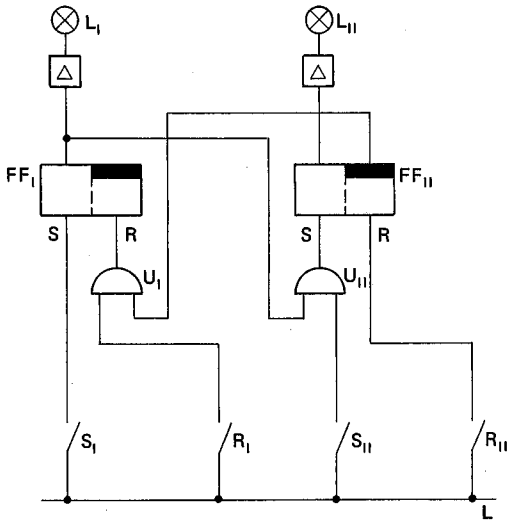


Bild 6/83. Zu Übung 6/16d.

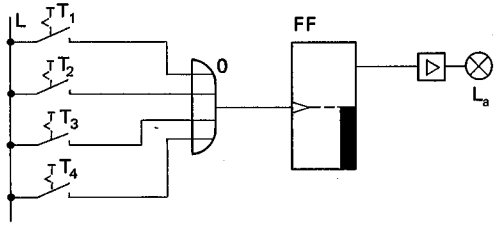


Bild 6/84. Zu Übung 6/16e.

Flip-Flop-Ansteuerung über prellfreie Taster

Wird ein dynamisch angesteuertes Flip-Flop über einen der üblichen mechanischen Taster angesteuert, Bild 6/85a, so besteht die Gefahr, daß dem Flip-Flop-Eingang infolge von Kontaktprellungen mehrere 0L-Signalwechsel zugeführt werden. Die Position des Flip-Flops nach der Betätigung des Tasters ist somit nicht eindeutig gewährleistet, da das Flip-Flop mit jedem 0L-Signalwechsel am Eingang T erneut umgesteuert wird.

Hier kann man Abhilfe schaffen, indem man ein statisches Flip-Flop, Bild 6/85b, oder auch zwei entsprechend verschaltete NOR-Stufen, Bild 6/85c, zur Unterdrückung der Prellung heranzieht. Bereits bei der ersten kurzzeitigen Berührung des S-Einganges wird das RS-Flip-Flop eindeutig gesetzt. Prellt jetzt der Kontakt von S zurück in den freien Raum zwischen R und S, so bleibt das RS-Flip-Flop gesetzt. Entsprechendes wird auch über die NOR-Glieder-Kombination erzielt.

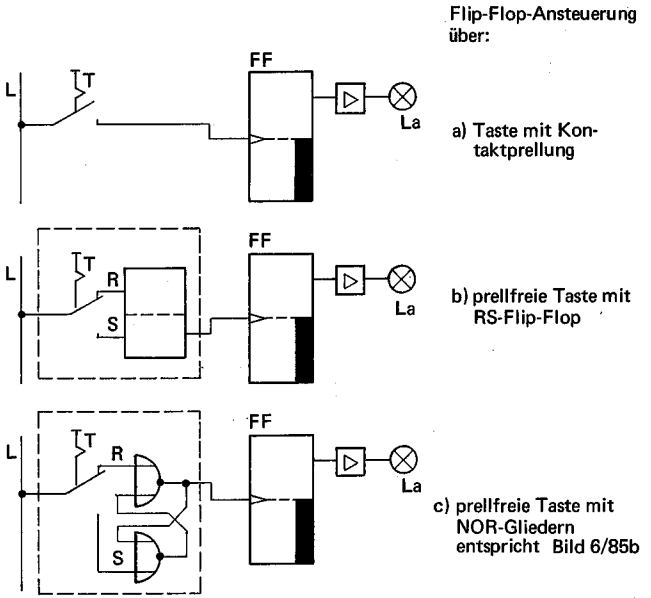


Bild 6/85. Flip-Flop-Ansteuerungsarten.
a) Über Taster-Gefahr der Kontaktprellung.
b) Über RS-Flip-Flop, prellfrei.
c) Über NOR-Speicher, prellfrei.

Flip-Flops als Elemente einer Alarmschaltung

Bild 6/86 gibt eine Alarmschaltung wieder, wie sie in der Praxis in vielen Varianten ausgeführt wird.

Wie funktioniert nun diese Schaltung im einzelnen?

Die beiden dynamisch angesteuerten Flip-Flops FF3 und FF4 arbeiten als Frequenzteiler und setzen die vom Impulsgenerator kommende Signalfrequenz auf ein Viertel, also auf 5 Hz herab.

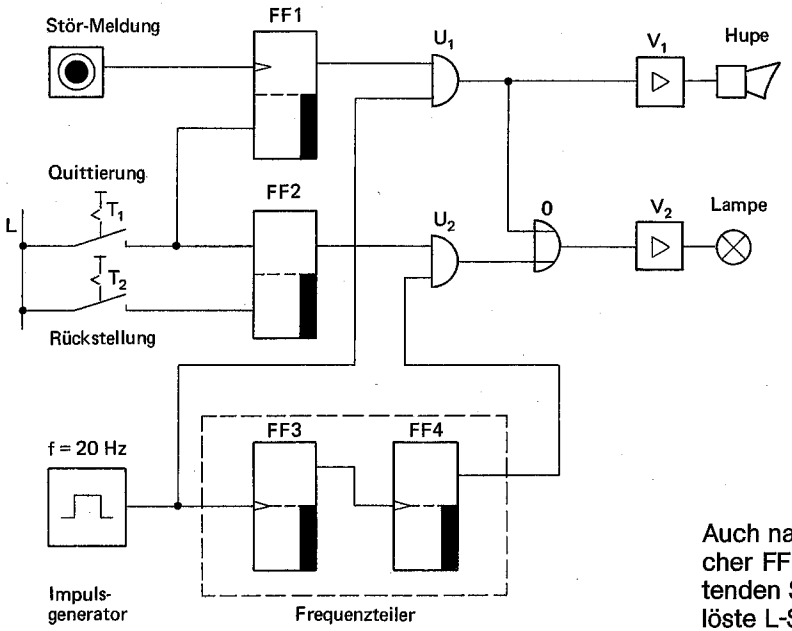


Bild 6/86. Prinzipschaltung einer Alarmanlage.

Das 20 Hz-Signal wird der UND-Stufe U_1 direkt zugeführt. Da im alarmfreien Zustand der Anlage das Flip-Flop FF1 nicht gesetzt ist, bleibt die UND-Stufe U_1 gesperrt, so daß das 20 Hz-Signal nicht zu den Alarmorganen weitergelangen kann.

Das 5 Hz-Signal wird der UND-Stufe U_2 zugeführt. Auch dieses Signal wird nicht durchgeschaltet, da das Flip-Flop FF2 im alarmfreien Zustand ebenfalls nicht gesetzt ist und somit die UND-Bedingungen für U_2 nicht erfüllt sind.

Nun gibt man über den Taster „Störmeldung" eine Alarmmeldung in die Schaltung ein. Das Alarmsignal wird am Setzeingang des Flip-Flop FF1 dynamisch ausgewertet, d. h., daß das Flip-Flop sofort mit der Alarmmeldung gesetzt wird. Die Folge ist, daß die Sperre von U_1 aufgehoben wird und somit die Hupe wie auch die Lampe über die vorgeschalteten Verstärker mit dem 20 Hz-Signal angesteuert werden.

Wird nun die Alarmmeldung über den Taster T_1 quittiert, so erhalten die Flip-Flops FF1 und FF2 gleichzeitig ein L-Signal. Der Rückstelleingang des Flip-Flops FF1 wertet das ankommende Signal statisch aus, wodurch das Flip-Flop zurückgestellt wird. Hierdurch wird die UND-Stufe U_1 wieder gesperrt und das 20 Hz-Signal unterdrückt.

Auch nach dem Loslassen des Tasters T_1 bleibt der Speicher FF1 zurückgestellt, da an seinem dynamisch arbeitenden Setzeingang zwar das durch den Alarmfall ausgelöste L-Signal nach wie vor ansteht, jedoch kein erneuter 0L-Signalwechsel aufgetreten ist.

Mit dem Betätigen von T_1 wird gleichzeitig auch das Flip-Flop FF2 angesteuert und gesetzt. Die Folge davon ist, daß die Sperre der UND-Stufe U_2 nunmehr aufgehoben wird und das 5 Hz-Signal, vom Ausgang des Frequenzteilers her kommend, dem Lampenverstärker V_2 zugeführt wird. Die Lampe leuchtet jetzt statt mit 20 Hz mit 5 Hz auf.

Nachdem die Betriebsstörung behoben wurde, wird die Anlage über T_2 wieder in die Ausgangsposition gebracht. Dies geschieht, indem nunmehr auch das Flip-Flop FF2 zurückgestellt wird.

Diese Alarmschaltung erfüllt in der vorliegenden Konzeption noch nicht alle Anforderungen, die man in der Praxis an sie stellen würde. Sie zeigt aber, wie ein praktisches Problem durch Kombinationen von Logikstufen und Speicherstufen gelöst werden kann.

Übung 6/17 ? Verständnisübung

a) Welche Flip-Flop-Typen, abgesehen von der Art der Triggerung, haben Sie in diesem Kapitel kennengelernt?

b) bis d) Beschreiben Sie in Worten die Unterschiede zwischen folgenden Typpaaren der Lösung der Übung 6/17 a):

b) Typpaar 1 und 2,
c) Typpaar 3 und 4,
d) Typpaar 3 und 5.

e) Stellen Sie die Schaltung von Bild 6/19 im Sinne der Lösung von Übung 5/16 (Kapitel 5) systematisch auf NAND um.

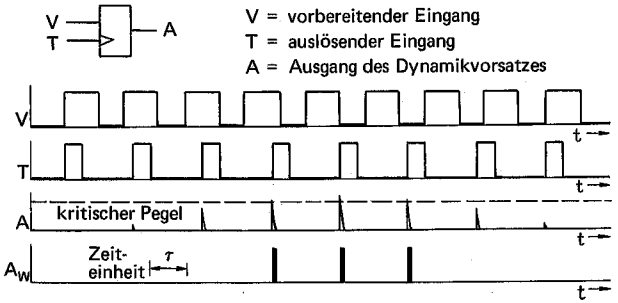
f) Bei der Schaltung im 3. Schritt der Lösung von Übung 6/17 e) wurden gegenüber der im 2. Schritt die Umkehrstufen in den Ausgängen weggelassen. Wieso ändert das nicht die Funktion der Schaltung?

g) Es sei in der Schaltung im 3. Schritt der Lösung von Übung 6/17 e) $R = 0$ und $S = L$. Welche Werte ergeben sich für $\overline{S}$, Q, $\overline{R}$ und $\overline{Q}$? Was geschieht, wenn nach diesem Zustand S auf 0 zurückfällt?

h) Ein „Zähl-Flip-Flop" wird durch Impulse zunächst von 0 auf L, dann von L wieder auf 0 fortgeschaltet. Was hat das mit Zählen zu tun? Versuchen Sie einen Vergleich mit der Ziffernwalze eines dekadischen Zählwerkes (Kilometer-Zähler).

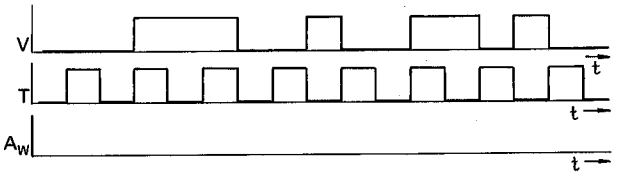
Übung 6/18 ? Verständnisübung

a) Im folgenden Signal-Zeit-Plan ist in den Diagrammen für V, T und A die Wirkungsweise eines Dynamikvorsatzes erkennbar, so wie sie sich in der Praxis darstellt. Warum steigt der Spitzenwert des Ausgangssignals A zunächst an und fällt dann wieder ab? Beachten Sie das Zusammenspiel von V und T.



b) Im A-Diagramm zeigt eine gestrichelte Linie den Pegel an, von dem ab A ein nachgeschaltetes Flip-Flop beeinflussen – setzen oder rückstellen – könnte. Nur wenn dieser Pegel erreicht wird, ist A „wirksam". Das Diagramm A_W gibt an, zu welchen Zeitpunkten der Ausgang des Dynamikvorsatzes in diesem Sinne das Signal L führt. Geben Sie an, wieviel % der Zeiteinheit T als Vorbereitungszeit zumindest erforderlich ist und wie lange das Vorbereitungssignal V höchstens schon zurückgefallen sein darf, damit der Dynamikvorsatz das – wirksame – Signal L abgibt.

c) Zeichnen Sie im folgenden Signal-Zeit-Plan die wirksamen L-Signale am Ausgang A des Dynamikvorsatzes ein.



Übung 6/19 ? Verständnisübung

Welche der folgenden Aussagen sind richtig, welche falsch?
Der Ausgang eines Dynamikvorsatzes liefert ein – wirksames – L-Signal, wenn

a) gleichzeitig auf den vorbereitenden und den auslösenden Eingang ein L-Signal gegeben wird,

b) auf dem vorbereitenden und dem auslösenden Eingang hinreichend lange ein L-Signal liegt,

c) vor dem Zeitpunkt einer Triggerung hinreichend lange ein L auf dem vorbereitenden Eingang lag,

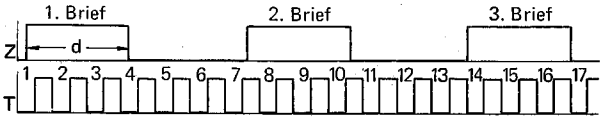
d) vor und nach dem Zeitpunkt der Triggerung auf dem vorbereitenden Eingang ein L-Signal liegt.

Übung 6/20 **Fallstudie**

Synchronisation von Zählimpulsen.

Bevor wir die Flip-Flops kennengelernt haben, gab es in unseren Logikplänen gewissermaßen keine „Zeit". An einer einfachen Aufgabenstellung wollen wir daher einmal den Umgang mit Flip-Flops und mit zeitlichen Abläufen üben.

In einer Briefsortieranlage löst jeder einlaufende Brief einen Zählimpuls Z aus. Er hat eine definierte Dauer d. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen kann zwar in einem gewissen Bereich schwanken; zwischen zwei Impulsen klafft jedoch eine Zeitlücke, die ebenfalls mindestens die Dauer d hat. Die Steuerung der Anlage, die u. a. die Briefe zählt, arbeitet synchron, d. h. alle Flip-Flops werden durch einen zentral vorgegebenen Takt jeweils gleichzeitig getriggert. Ein Oszillogramm gab folgendes Bild:



Es soll eine Schaltung entworfen werden, die je Z-Impuls einen – einzigen – synchronisierten Impuls Y abgibt, dessen Dauer der Periode von T entspricht. Die steigende Flanke von Y soll also zeitgleich mit einer steigenden T-Flanke kommen, die fallende Y-Flanke mit der darauffolgenden steigenden T-Flanke. Der nächste Y-Impuls darf erst ausgelöst werden, wenn inzwischen Z wieder auf null zurückgefallen war. Die Lösung erfolgt schrittweise.

a) Warum reicht ein Flip-Flop zur Lösung nicht aus?

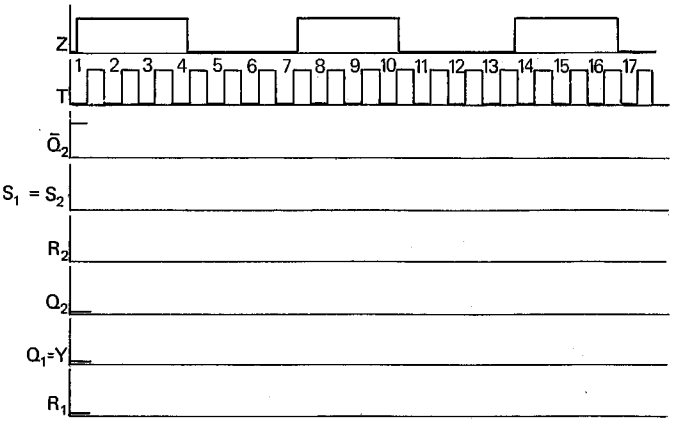
b) Die Überlegungen zu Übung 6/20 a) legen nahe, eine Realisierung mit zwei Flip-Flops zu versuchen. Welche Aufgabe könnte jedem von ihnen zugewiesen werden?

c) Die Schaltung soll mit dynamisch – positive Flanke – angesteuerten RS-Flip-Flops realisiert werden. Formulieren Sie aber vor dem Entwurf der Schaltung für jedes der beiden Flip-Flops die Bedingungen für Vorbereiten auf Setzen als auch für Vorbereiten auf Rückstellen.

d) Zeichnen Sie die Schaltung.

e) Ergänzen Sie den Signal-Zeit-Plan von Übung 6/20 a) durch Hinzunahme von $\bar{Q}_2$, $S_1 = S_2$, R_2, Q_2, $Q_1 = Y$ und R_1 (1/2 Taktperiode reiche zur Vorbereitung aus).

Zu Anfang sollen beide Flip-Flops auf null stehen. Tragen Sie zuerst R_2 vollständig ein und füllen dann das restliche Diagramm von Takt zu Takt aus.



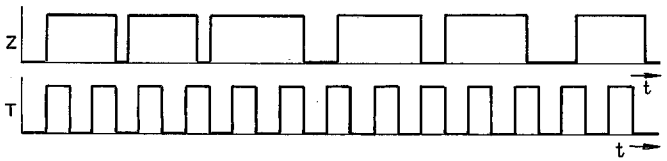
f) Kennzeichnen Sie in der Lösung der Übung 6/20 e) diejenigen positiven T-Flanken, die tatsächlich für Y setzend zur Wirkung kommen. Geben Sie die Zeitverzögerung – wieviel T-Perioden? – an, mit der die positive Flanke des internen bzw. synchronisierten Zählimpulses Y gegenüber der positiven Flanke des externen Zählimpulses Z nachhinkt.

g) Die Z-Impulse sollen durch das Vorbeiführen der Briefe an einer Photozelle generiert werden. Da die Briefe mit gleicher Geschwindigkeit transportiert werden, verursacht ein längerer Brief einen Z-Impuls von größerer Dauer. Wird dadurch unsere synchronisierte Schaltung in ihrer Funktion gestört?

h) Warum müßte ein Z-Impuls, dessen Dauer mindestens 3/2 T-Perioden ist, auf jeden Fall einen Y-Impuls auslösen? Zeichnen Sie solche Z-Impulse in verschiedenen Verzögerungslagen zu den T-Impulsen. Beachten Sie: Die Vorbereitungszeit der Flip-Flops ist 1/2 T-Periode. Zeigen Sie weiterhin, daß Z-Impulse von 1/2 T-Periode Dauer unbemerkt bleiben könnten.

i) Könnte man, vorausgesetzt die Z-Impulse hätten alle genau eine Dauer von 3/2 T-Perioden, das Flip-Flop 2 einsparen? Begründung? Geben Sie die neue Schaltung an.

j) Ergänzen Sie folgenden Signal-Zeit-Plan durch die Diagramme von $Y = R$, $\overline{Y}$ und S, beginnend vor der ersten T-Flanke mit $Y = 0$. Numerieren Sie jeweils mit derselben Nummer eine positive Z-Flanke, die zugehörige positive Y-Flanke, die diese triggernde T-Flanke und den jeweils vorbereitenden S-Impuls. Kennzeichnen Sie außerdem die Verzögerung V zwischen Z- und Y-Flanke.

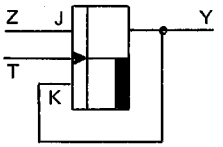


k) Was ist im Vergleich zu T die höchste Z-Frequenz, die über Y noch richtig weitergegeben werden kann? Wie groß müßten die Abstände von je zwei aufeinanderfolgenden positiven Z-Flanken sein?

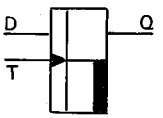
l) Wie könnte man die Schaltung der Übung 6/20 i) vereinfachen, wenn man statt eines RS- ein JK-Flip-Flop benutzen würde? Begründung?

m) Wie müßte die Schaltung der Übung 6/20 l) verändert werden, wenn das benutzte JK-Flip-Flop mit fallender Flanke getriggert würde?

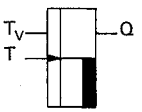
n) Ergänzen Sie den Signal-Zeit-Plan der Übung 6/20 j) unter der Annahme negativer Triggerung des JK-Flip-Flops in der Schaltung der Übung 6/20 l). Hinzukommen soll das Diagramm $K = Y$, da ja $J = Z$ ist. Die Vorbereitung erfolge mit L-Signalen.



o) Realisieren Sie die Synchronisation mit einem D-Flip-Flop und erläutern die Funktionsweise der neuen Schaltung (Z-Impulslänge = 3/2 T-Periode).



p) Realisieren Sie die Synchronisation mit einem T-Flip-Flop und erläutern die Funktionsweise der neuen Schaltung (Z-Impulslänge = 3/2 T-Periode).



T_V	$Q_{t_{n+1}}$
0	Q_{t_n}
L	$\overline{Q}_{t_n}$

7. Signale werden zeitlich beeinflußt

Um bei steuerungstechnischen Vorgängen einen sinnvollen Wirkungsablauf zu gewährleisten, ist häufig nicht nur die logische Verknüpfung, sondern auch eine zeitliche Beeinflussung von Steuerungssignalen erforderlich. Die Aufgabenstellungen sind in dieser Hinsicht recht vielfältig:

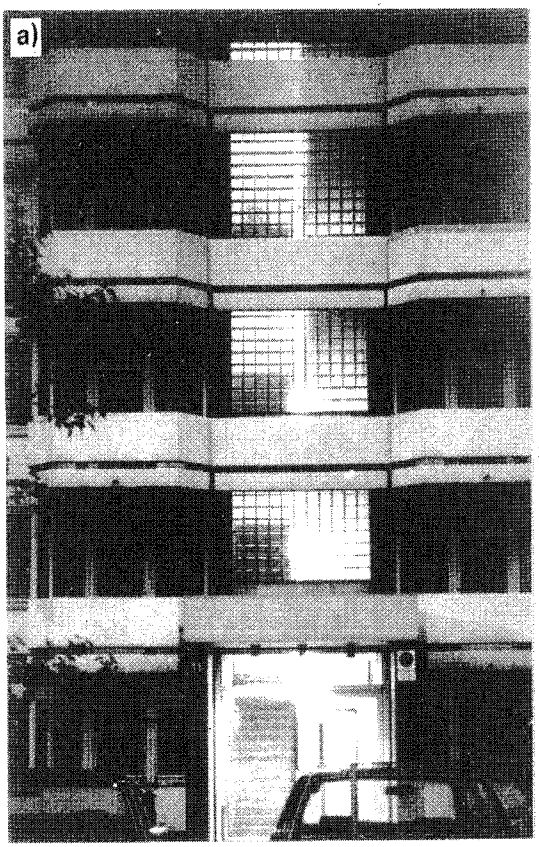
Die Belichtungseinstellung bei einem Fotokopiergerät ist ohne die zeitliche Beeinflussung von Schaltsignalen ebenso wenig denkbar wie die Überwachung des Zündvorganges bei einer Ölfeuerung oder das Herstellen einer Gesprächsverbindung durch das Drehen einer Nummernscheibe im Fernsprechwählverkehr.

Und auch vergleichsweise einfache Schaltvorgänge wie das Öffnen und Schließen einer Aufzugstür oder das vorübergehende Einschalten einer Treppenhausbeleuchtung bedürfen der zeitlichen Beeinflussung und der gegenseitigen zeitlichen Abstimmung der Signale im Wirkungsablauf, Bild 7/1a bis g.

Je nach Aufgabenstellung werden unterschiedliche Arten der zeitlichen Signalbeeinflussung wie Ein- und Ausschaltverzögerungen, Signalzeitverkürzungen oder -verlängerungen, Signalzeitbegrenzungen oder Signalwiederholungen benötigt.

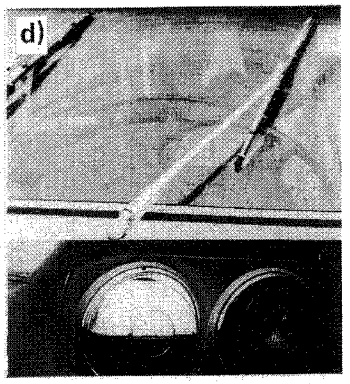
Zur Signalzeitbeeinflussung werden zeitbestimmende Schaltglieder verwendet, die in ihrer technischen Ausführung recht unterschiedlich sein können. Die Realisierungsmöglichkeiten reichen von der elektronischen Widerstands-Kondensator-Kombination für Impulsverzögerungen von wenigen Mikrosekunden bis zum mechanischen Laufwerk, das Schaltverzögerungen von Minuten oder gar Stunden bewirkt. Bei manchen modernen elektronischen Einrichtungen zur Schaltzeitbeeinflussung ist die Einstellung der Schaltzeit im Bereich von einigen Mikrosekunden bis zu vielen Stunden sogar stufenlos möglich.

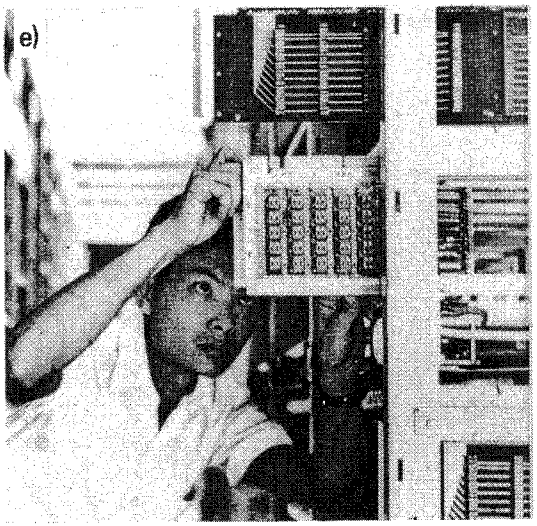
Bild 7/1. Bei vielen Steuerungsaufgaben werden zeitlich beeinflußte Signale benötigt.
a) Eine Treppenhausbeleuchtung verlischt einige Zeit nach dem Einschalten.
b) U-Bahn-Türen schließen mit Verzögerung.
c) Eine Rolltreppe wird nach einer bestimmten Zeit stillgesetzt, wenn sie nicht mehr benutzt wird.
d) Scheibenwischer und Blinklichter bei Kraftfahrzeugen werden durch Zeittaktgeber gesteuert.
e) Die Steuerimpulse bei einer Fernsprechwählvermittlung müssen zeitlich aufeinander abgestimmt sein.
f) Die Fahrkontrollschaltung eines Triebwagens spricht an, wenn der Fahrer nicht in festgelegten Zeitabständen den Kontrollknopf betätigt.
g) Die Belichtungszeit beim Fotokopieren wird durch zeitlich einstellbare Schaltglieder bestimmt.

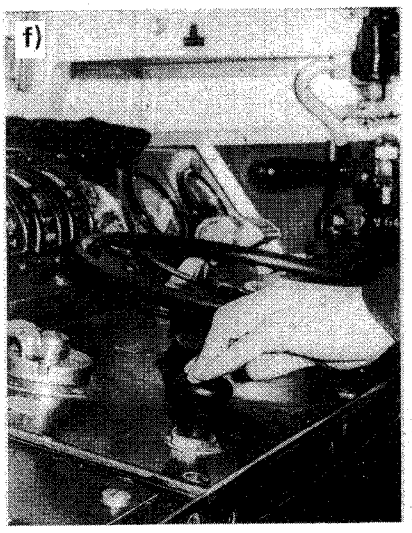

a)

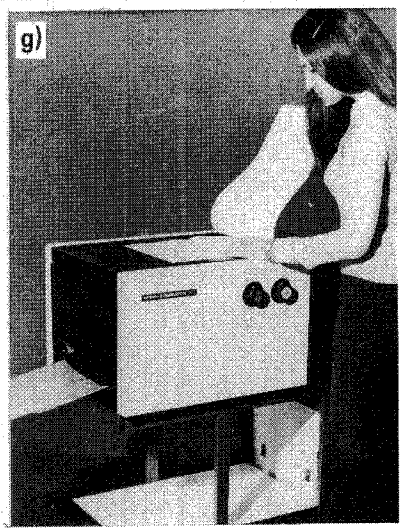
b)

c)


d)


e)


f)


g)

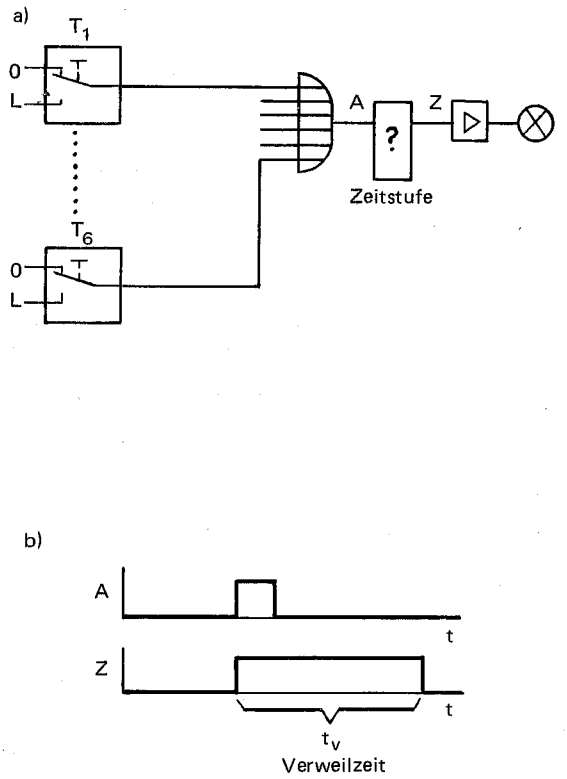


Bild 7/2. Treppenlichtschaltung.
a) Problem
b) Signal-Zeit-Plan der Zeitstufe.

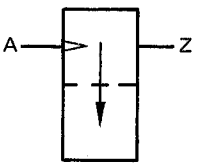


Bild 7/3. Symbol eines Monoflops mit dynamischem Eingang.

Das Monoflop – ein zeitbestimmendes Schaltglied

Welche Anforderungen im einzelnen an die Wirkungsweise eines Zeitgliedes gestellt werden, soll zuerst anhand einer einfachen und bekannten Aufgabe betrachtet werden:

Eine Treppenhausbeleuchtung soll von verschiedenen Stellen aus durch kurzzeitigen Tastendruck eingeschaltet werden können. Nach einer bestimmten eingestellten Zeit soll die Beleuchtung von selbst wieder abschalten.

Die einfache digitaltechnische Schaltung für diese Aufgabe ist in Bild 7/2a gezeichnet. Über ein ODER-Glied muß mindestens ein Schaltbefehl zu einer Zeitstufe gelangen, die über einen Schaltverstärker die Beleuchtung einschaltet.

Das zeitliche Verhalten, das die Zeitstufe bei dieser Aufgabenstellung aufweisen muß, wird durch den Signal-Zeit-Plan in Bild 7/2b veranschaulicht:

Mit dem Auftreten eines L-Signals am Monoflopeingang A erscheint am Ausgang Z der Zeitstufe ebenfalls L-Signal, und zwar für eine fest eingestellte Verweilzeit t_v. Nach dieser Zeit verschwindet das L-Signal am Ausgang Z wieder. Es spielt also für das Auftreten des Ausgangssignals keine Rolle, wie lange das Eingangssignal wirkt.

Da die Zeitstufe einen definierten festen Signalzustand besitzt, in den sie von selbst aus dem vorübergehenden, unstabilen Zustand zurückkehrt, wird sie als monostabile Kippstufe oder einfach (in Anlehnung an den Ausdruck Flip-Flop) als Monoflop bezeichnet.

Das in der Digitaltechnik übliche Symbol dafür zeigt Bild 7/3. Es enthält die wesentlichen Aussagen über die Funktionsweise des Monoflops, läßt aber nichts über den inneren technischen Aufbau erkennen, der in der Praxis sehr unterschiedlich sein kann.

Im Ruhezustand liegt am Ausgang Z des Monoflops kein L-Signal. Erst wenn am (dynamischen) Eingang ein Signalwechsel von O auf L erfolgt, kippt das Monoflop in den Arbeitszustand; der Ausgang Z führt dann L-Signal.

Nach der Verweilzeit kippt das Monoflop wieder in den Ruhezustand zurück, das L-Signal am Ausgang verschwindet wieder.

Der Pfeil im Monoflop-Symbol weist in die stabile Lage, in der sich das L-Signal im Ruhezustand befindet.

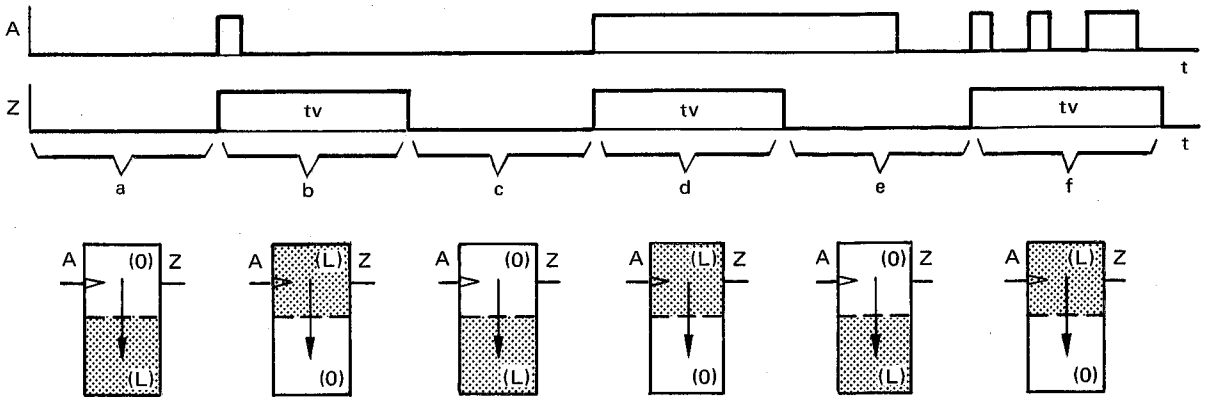


Bild 7/4. Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise eines Monoflops mit dynamischem Eingang.

Zur weiteren Veranschaulichung der Wirkungsweise eines Monoflops mit dynamischer Ansteuerung soll Bild 7/4 dienen:

In die beiden Symbolhälften des dort mehrfach abgebildeten Monoflops wurden zur besseren Kennzeichnung des jeweiligen Arbeits- bzw. Ruhezustands – abweichend von der Norm – die Signalzustände L bzw. O eingetragen, die L-Signal führende Seite wurde zusätzlich farblich getönt.

Im Zeitabschnitt *a* der Signal-Zeit-Plan-Darstellung befindet sich das Monoflop im Ruhezustand, wobei angenommen wird, daß schon lange Zeit vorher kein O-L-Signalwechsel am Monoflopeingang stattgefunden hat.

Für den Zeitabschnitt *b* hingegen wurde das Monoflop durch einen O-L-Signalwechsel am Eingang für die Dauer einer Verweilzeit t_v in den Arbeitszustand versetzt.

Danach kippt das Monoflop für den Zeitabschnitt *c* in den Ruhezustand, bis mit Beginn des Zeitabschnittes *d* ein neuer O-L-Signalwechsel am Eingang A auftritt und das Monoflop wieder in den Arbeitszustand versetzt. Obwohl am Monoflopeingang über den Zeitabschnitt *d* hinaus L-Signal ansteht, kippt das Monoflop am Ende dieses Zeitabschnittes wieder in den Ruhezustand. Daraus wird deutlich, daß die Verweilzeit bei diesem Monofloptyp nur durch den O-L-Signalwechsel eingeleitet wird und nicht von der Dauer des Eingangssignals abhängig ist.

Im Zeitabschnitt *f* schließlich treten nach dem ersten O-L-Signalwechsel, der das Monoflop in den Arbeitszustand setzte, zwei weitere auf, die jedoch bei diesem Monoflop keine Verlängerung der Verweilzeit bewirken. Man sagt in diesem Fall, das Monoflop ist nicht „nachtriggerbar". Erst wenn die Verweilzeit abgelaufen ist, kann dieses Monoflop durch einen O-L-Signalwechsel erneut gesetzt werden.

Der hier beschriebene Monoflop-Typ ist nicht der einzig mögliche. Neben diesem Typ gibt es andere, die sich in der Ansteuerbarkeit und im Zeitverhalten unterscheiden. Im nächsten Abschnitt wird auf diese Unterschiede eingegangen.

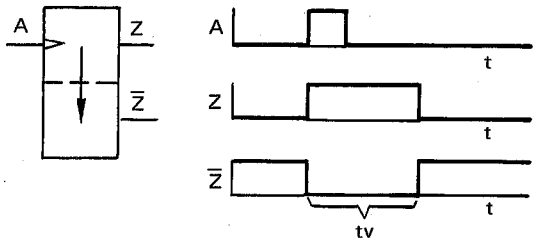


Bild 7/5. Monoflop mit dynamischem Eingang für 0-L-Signalwechsel und negiertem Ausgang.

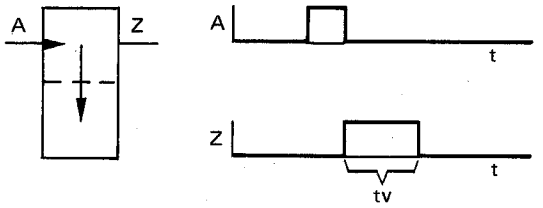


Bild 7/6. Monoflop mit dynamischem Eingang für L-0-Signalwechsel.

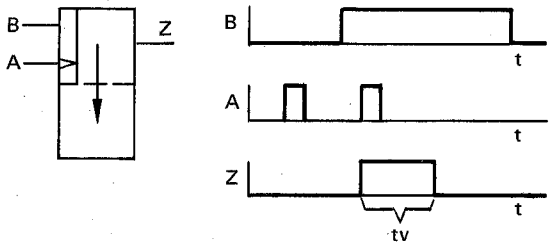


Bild 7/7. Monoflop mit Vorbereitungseingang und dynamischem Eingang für 0-L-Signalwechsel.

Verschiedene Monoflop-Varianten

Das im vorigen Abschnitt vorgestellte Monoflop mit dynamischem Eingang ist in Steuerungsschaltungen am häufigsten anzutreffen. Der besseren Übersichtlichkeit wegen wurde es bisher nur mit einem Ausgang gezeichnet. Es ist aber durchaus möglich, einen zusätzlichen Ausgang zur Negation des Ausgangssignals herauszuführen, wie es auch bei Flip-Flops üblich ist.

In Bild 7/5 ist das Monoflopsymbol mit dem negierten Ausgang $\overline{Z}$ gezeichnet. Der negierte Ausgang führt L-Signal, wenn das Monoflop im Ruhezustand ist; er führt O-Signal, wenn sich das Monoflop im Arbeitszustand befindet. Der abgebildete Signal-Zeit-Plan verdeutlicht die Verhältnisse.

Bild 7/6 zeigt eine Monoflop-Variante, die sich von der vorhergehenden durch die Art der Ansteuerung unterscheidet. Bei diesem Monoflop wird das Setzen in den vorübergehenden Arbeitszustand nicht durch einen Signalwechsel von O auf L, sondern umgekehrt von L auf O, erreicht. Der Eingang des Monoflop-Symbols ist dementsprechend durch ein ausgefülltes Dreieck gekennzeichnet.

Auch das Monoflop nach Bild 7/7 unterscheidet sich durch die Ansteuerungsmöglichkeit von den anderen. Es kann nur durch einen O-L-Signalsprung in den Arbeitszustand geschaltet werden, wenn vorher am zusätzlich vorhandenen Vorbereitungseingang ein L-Signal ansteht. Fehlt das L-Signal am Vorbereitungseingang, bleibt jegliche Signaländerung am dynamischen Eingang wirkungslos.

Obwohl sich das Symbol des Monoflops in Bild 7/8 von dem Monoflopsymbol in Bild 7/3 (bzw. Bild 7/4 und 7/5) in der Kennzeichnung des dynamischen Eingangs nicht unterscheidet, weist der Signal-Zeit-Plan für diese Monoflop-Variante im Vergleich zu den anderen ein abweichendes Verhalten nach.

Und zwar kann, so wird hier angenommen, bei diesem Monoflop die Verweilzeit im Arbeitszustand insgesamt verlängert werden, Bild 7/8a, wenn während einer gerade ablaufenden Verweilzeit ein O-L-Wechsel am Eingang vorgenommen wird. Man sagt, das Monoflop wird „nachgetriggert" und spricht von einem „nachtriggerbaren" Monoflop.

Vom Augenblick der Nachtriggerung an läuft eine neue Grundverweilzeit ab. Würde während dieser erneut ablaufenden Verweilzeit ein weiterer Triggerimpuls auftre-

ten, so würde damit der Beginn für den Ablauf einer weiteren vollen Verweilzeit gesetzt.

Das Zurückkippen des Monoflops kann also zum Beispiel durch periodisch auftretende Triggerimpulse beliebig lange verhindert werden, wenn der zeitliche Abstand der Triggerimpulse kürzer als die fest eingestellte Grundverweilzeit des Monoflops ist.

In der Praxis wird für das nachtriggerbare Monoflop das Symbol des einfachen Monoflops mit dynamischer Ansteuerung ohne Unterscheidungsmerkmal verwendet. In Schaltplänen muß auf die eventuell mögliche Nachtriggerbarkeit eines Monoflops besonders hingewiesen werden.

Das nachtriggerbare Monoflop nach Bild 7/8 besitzt zusätzlich einen Rückstelleingang, der übrigens auch bei anderen Monoflop-Typen möglich wäre.

Der Signal-Zeit-Plan in Bild 7/8b zeigt, wie das Zeitverhalten des Monoflops über den Rückstelleingang zu beeinflussen ist:

Tritt ein Rückstellsignal (L-Signal) auf, wenn sich das Monoflop gerade im (instabilen) Arbeitszustand befindet, so wird es durch das Rückstellsignal sofort in den Ruhezustand geschaltet.

Ist jedoch das Rückstellsignal vor dem Auftreten eines Triggersignals vorhanden, so wird das Monoflop gesperrt, es kann nicht gesetzt werden.

Die Möglichkeit der Beeinflussung der Verweilzeitdauer durch Eingangssignale ist auch beim Monoflop nach Bild 7/9 gegeben, das hier als Monoflop mit statischer Ansteuerung bezeichnet werden soll und dem folgende Funktionsweise zugeschrieben wird:

Das Monoflop wird in den Arbeitszustand versetzt, wenn am Eingang ein L-Signal auftritt. Solange das Eingangssignal ansteht, bleibt das Monoflop gesetzt.

Wenn das Eingangssignal verschwindet, kippt das Monoflop nach Ablauf der Verweilzeit in den Ruhezustand zurück (Bild 7/9a).

Erscheint während der Verweilzeit ein neues Eingangssignal (Bild 7/9b), so wird das Monoflop weiter im Arbeitszustand gehalten. Nach dem Verschwinden des letzten Eingangssignals vergeht noch die gesamte Verweilzeit, ehe das Monoflop in den Ruhezustand zurückfällt.

Bei den in der Praxis angebotenen elektronischen Monoflop-Bausteinen besteht in der Regel die Möglichkeit, durch externe Zuschaltung von Bauelementen auch die

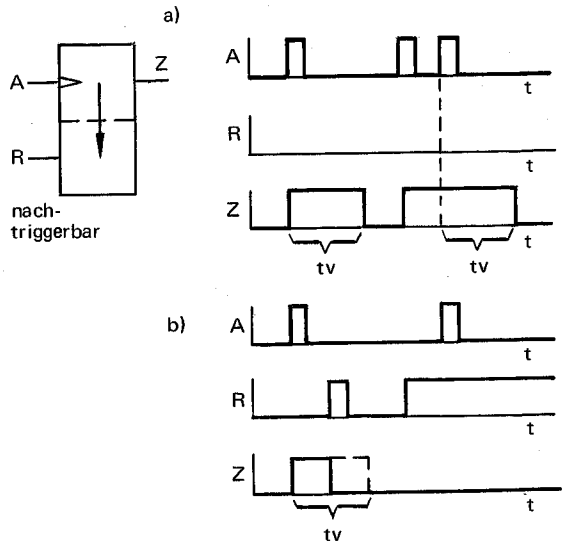


Bild 7/8. Nachtriggerbares Monoflop mit Rückstelleingang.

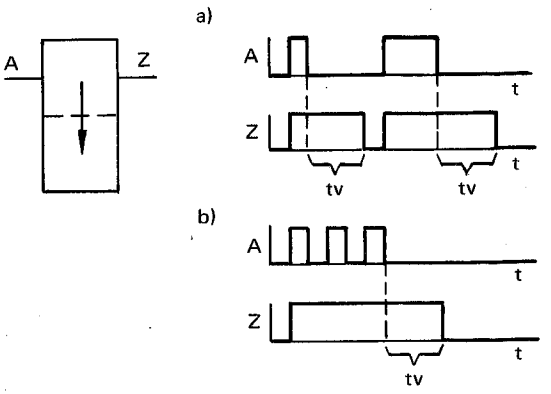


Bild 7/9. Monoflop mit statischem Eingang.

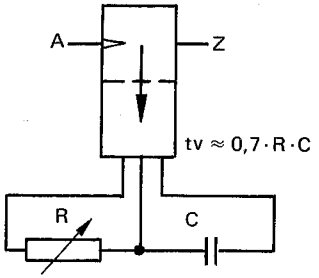


Bild 7/10. Beispiel eines elektronischen Monoflops mit externer Beschaltung (RC-Kombination) zur stufenlosen Einstellung der Verweilzeit.

Dauer der Verweilzeit zu beeinflussen – meist im Sinne einer wesentlichen Verlängerung.

In Bild 7/10 ist als Beispiel eine häufig angewandte Methode der Verweilzeitverlängerung durch eine Widerstand-Kondensator-Kombination dargestellt. Mit dieser Kombination ist eine Einstellung der Verweilzeit in weitem Bereich möglich, indem der Wert des Widerstandes und die Kapazität des Kondensators verändert werden.

Die Herstellerfirmen geben Berechnungsformeln zur Bestimmung der Verweilzeit aus den Werten der Bauteile an.

Beispiel: Ein Monoflop wird extern mit einem Kondensator $C = 100\ \mu F$ und einem Widerstand $R = 47$ kOhm beschaltet.

Wie groß wird die Verweilzeit, wenn in einem Datenblatt für einen integrierten Monoflop-Baustein die Berechnungsformel $t_V = 0{,}7\ R \cdot C$ angegeben ist?

Lösung: $t_V = 0{,}7 \cdot 47\ \text{kOhm} \cdot 100\ \mu F$

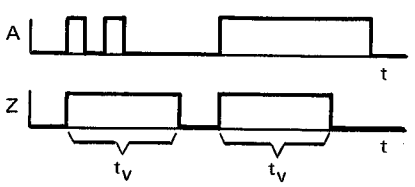
$t_V = 0{,}7 \cdot 47 \cdot 10^3\ \text{Ohm} \cdot 100 \cdot 10^{-6} F$

$t_V = 3{,}29$ s.

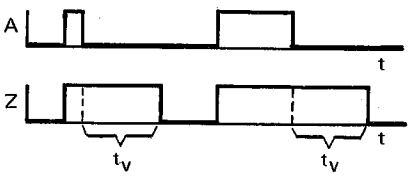
Übung 7/1 ?

Für welche Monoflop-Typen gelten die untenstehenden Signal-Zeit-Pläne?

a)



b)

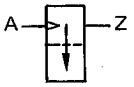


Übung 7/2

Welcher Unterschied besteht in der Wirkungsweise der beiden Monoflops?

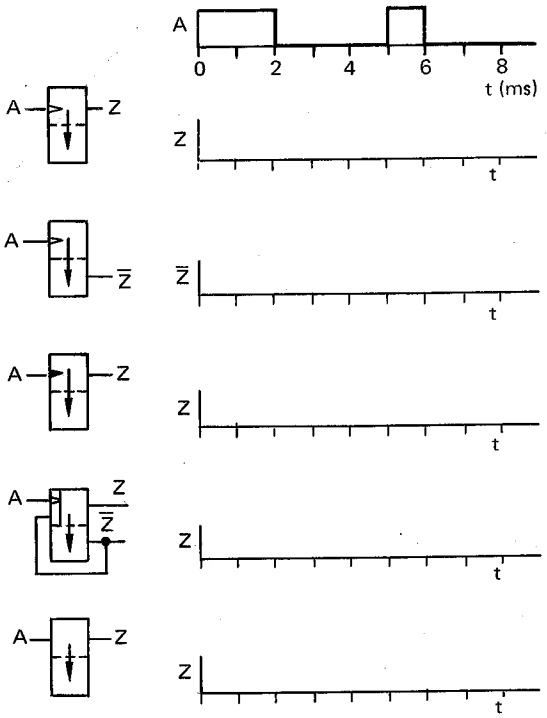
Übung 7/3

Bleibt das Monoflop mit dynamischem Eingang bei dauernd anstehendem Eingangssignal dauernd im Arbeitszustand?



Übung 7/4

Vervollständigen Sie die Signal-Zeit-Pläne für die verschiedenen Monoflop-Typen (Verweilzeit 2 ms).



Anwendungsbeispiele für Monoflops

In den folgenden Abschnitten werden einfache digitaltechnische Schaltungen aus der Praxis beschrieben, in denen als zeitbestimmende Schaltglieder Monoflops verwendet werden.

In der Absicht, die Funktion der zeitbestimmenden Schaltglieder in den Vordergrund zu stellen, sind hier die auf konkrete Anwendungsfälle bezogenen Schaltungsbeispiele auf die wesentlichsten Elemente reduziert worden, die für den richtigen Wirkungsablauf im Sinne der jeweiligen Aufgabenstellung erforderlich sind.

Die Schalteinheiten zur Eingabe der Steuerungssignale in die eigentliche Logikschaltung und auch die Schalteinheiten zur Aufnahme und Auswertung der aus der logischen Schaltung kommenden Signale werden in den Abbildungen in der Blockform dargestellt. Dabei wird generell angenommen, daß zwischen den Blockeinheiten und der logischen Schaltung eine technisch einwandfreie Signalübernahme gewährleistet ist.

Flammwächterschaltung für eine Ölfeuerung

Wenn eine Ölfeuerung in Betrieb genommen wird, muß das mittels einer Pumpe in den Brennraum der Anlage geförderte Öl in einer bestimmten Zeit elektrisch gezündet werden. Gelingt aus irgendwelchen Gründen das Entflammen des einströmenden Heizöls nicht, so muß die Ölförderung abgebrochen werden, um ein Vollaufen des Brennraumes zu verhindern.

Bild 7/11 enthält eine Schaltung mit einem Monoflop als zeitbestimmendem Wirkungsglied, die zur Überwachung der Flamme im Brennraum einer Ölfeuerung dient.

Zuerst sei der Wirkungsablauf für einen Zündversuch beschrieben, bei dem die Entflammung des Öls nicht gelingt:

Wenn die Anlage über den Betriebsschalter S eingeschaltet wird, gelangt ein O-L-Signalwechsel zum Eingang des Monoflops und setzt dieses in den Arbeitszustand. Vom Ausgang Q des Monoflops wird über ein ODER-Glied

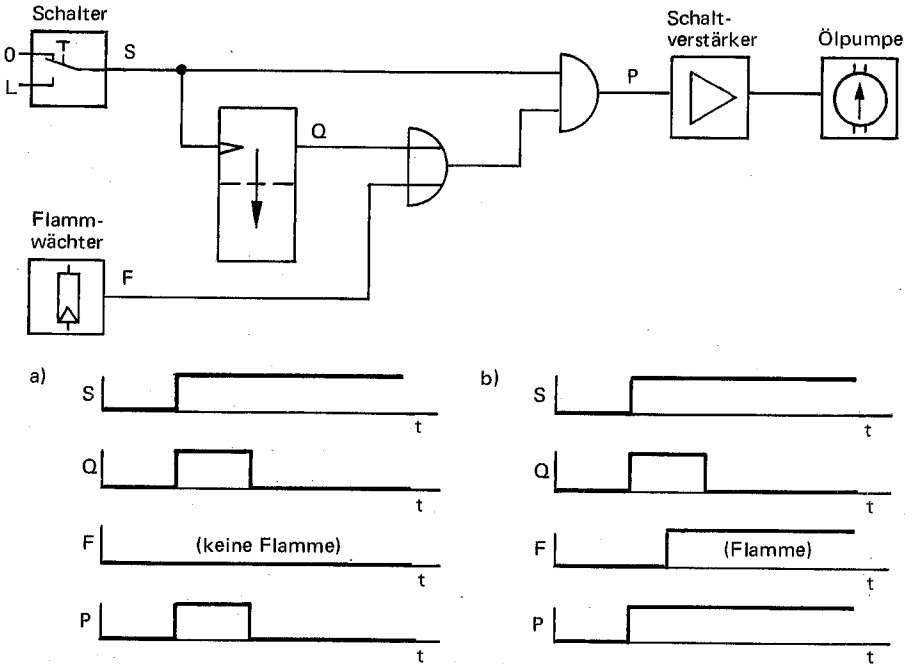


Bild 7/11. Flammwächterschaltung für eine Ölfeuerung.

a) Signal-Zeit-Plan für den Fall, daß die Zündung des Öls ausbleibt.

b) Signal-Zeit-Plan für den Fall, daß die Zündung des Öls erfolgt.

L-Signal auf den einen Eingang eines UND-Gliedes gegeben, während der andere Eingang dieses UND-Gliedes ebenfalls L-Signal direkt vom Schalter S her erhält. Die UND-Bedingung wird erfüllt, so daß vom Ausgang P der Schaltung L-Signal als Befehl zum Betrieb der Ölpumpe gegeben wird.

Da, wie angenommen, die Entflammung des Öls ausbleibt, wird vom Flammwächter F kein L-Signal abgegeben.

Nach dem Rückkippen des Monoflops wird somit weder vom Monoflop noch vom Flammwächter L-Signal über das ODER-Glied zum UND-Glied geliefert. Die UND-Bedingung wird nicht mehr erfüllt. Die Ölpumpe erhält keinen Arbeitsbefehl mehr, sie wird stillgesetzt. Der Signal-Zeit-Plan in Bild 7/11a verdeutlicht diesen Wirkungsablauf.

Die Ölförderung könnte fortgesetzt werden (Signal-Zeit-Plan 7/11b), wenn vom Flammwächter F noch während der Verweilzeit des Monoflops L-Signal gegeben würde. Dann bliebe auch nach dem Zurückkippen des Monoflops in den Ruhezustand die ODER-Bedingung für das ODER-Glied erfüllt und das UND-Glied bekäme weiterhin an beide Eingänge L-Signal. Die Ölpumpe liefe weiter. Das Abschalten der Anlage kann zu beliebiger Zeit mit dem Schalter S erfolgen.

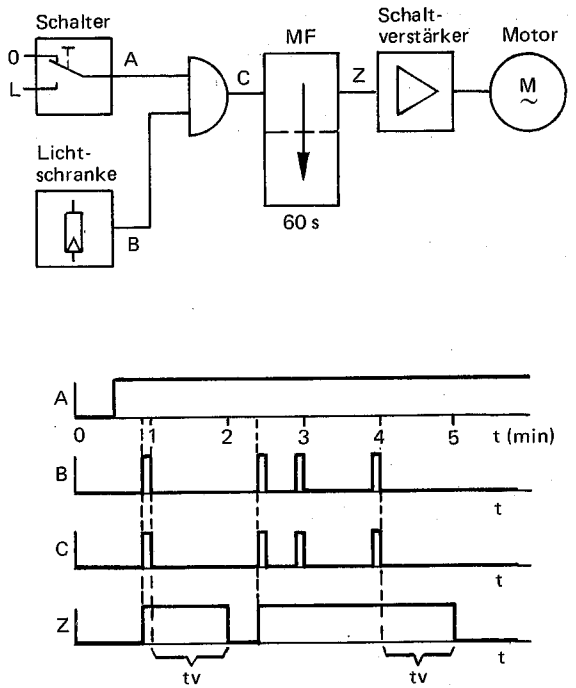


Bild 7/12. Beispiel für eine einfache Rolltreppensteuerung.

Eine Rolltreppensteuerung

Eine einfache Rolltreppensteuerung soll folgende Forderung erfüllen:

Die Rolltreppe soll in Gang gesetzt werden, wenn ein Schalter geschlossen ist und ein Passant eine Lichtschranke am Fuße der Treppe durchschreitet.

Nach 60 Sekunden soll die Rolltreppe wieder abgeschaltet werden, wenn keine weiteren Personen folgen.

Zur Lösung dieser Aufgabe muß die Steuerungseinrichtung ein zeitabhängiges Wirkungsglied enthalten. Allerdings kommt es auf die richtige Wahl der Zeitstufe an. Würde nämlich ein Monoflop mit dynamischer Ansteuerung verwendet, so wäre nicht gewährleistet, daß ein Passant, der die schon einige Zeit laufende Rolltreppe betritt, auch den vollen Weg transportiert würde. Denn während der ablaufenden Verweilzeit des Monoflops blieben weitere Setzimpulse wirkungslos.

Dagegen kann die vorliegende Aufgabenstellung mit einem Monoflop mit statischer Ansteuerung richtig gelöst werden (Bild 7/12).

Dieses Monoflop bleibt so lange gesetzt, wie das Eingangssignal ansteht; danach läuft die Verweilzeit ab. Treffen während einer ablaufenden Verweilzeit weitere Eingangssignale ein, so wird das statisch angesteuerte Monoflop mit jedem Impuls erneut in den Zustand versetzt, den es vor dem Beginn eines Verweilzeitablaufs besitzt. Erst nach dem Verschwinden des letzten Eingangssignals beginnt das Ablaufen der vollen Verweilzeit.

Damit ist sichergestellt, daß die Rolltreppe stets noch für die Dauer von 60 Sekunden läuft, nachdem der letzte Passant einer Gruppe die Treppe betreten hat.

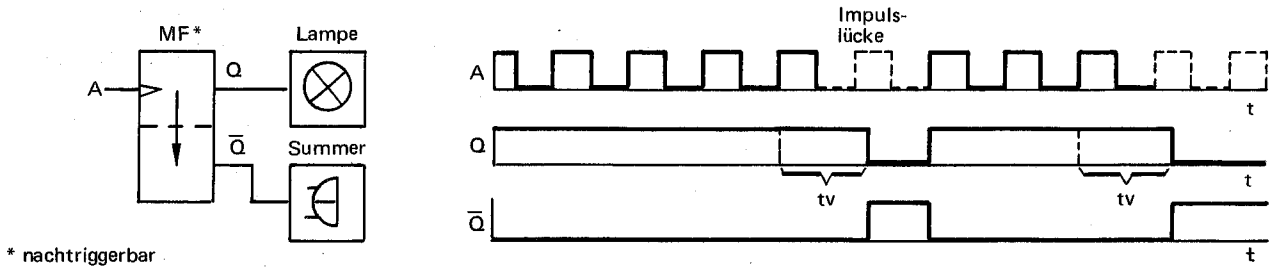


Bild 7/13. Eine Impulslücken-Kontrollschaltung.

Eine Impulslückenkontrolle

Bei manchen Produktions- und Abfüllprozessen ist das ununterbrochene Anliefern von Einzelteilen oder Packungen notwendig. Jede entstehende Lücke muß gemeldet werden.

Für diese Aufgabe ist die in Bild 7/13 gezeigte einfache Kontrollschaltung einsetzbar, die im wesentlichen nur aus einem dynamisch ansteuerbaren Monoflop besteht, das nachtriggerbar ist!

Solange eine gleichmäßige Impulsfolge am Schaltungseingang A ankommt, erscheint am Monoflopausgang Q andauernd L-Signal und am Ausgang $\bar{Q}$ O-Signal.

D. h. die Lampe zeigt das kontinuierliche Auftreten der Signalimpulse am Schaltungseingang; der Summer hingegen ertönt nicht.

Nur wenn innerhalb einer gleichmäßigen, ununterbrochenen Impulsfolge ein Impuls ausbleibt oder wenn gar keine Impulse mehr ankommen, wird das Monoflop in den Ruhezustand zurückfallen, so daß nun sein Ausgang $\bar{Q}$ L-Signal führt und der Alarmsummer ertönt.

Damit das Monoflop während einer gleichmäßig auftretenden ununterbrochenen Folge von Impulsen ständig im Arbeitszustand bleibt, muß seine Verweilzeit bis zum Auftreten des jeweils nächsten Impulses dauern, um von diesem Impuls „nachgetriggert" zu werden. Bleibt wegen einer Impulslücke die Nachtriggerung aus, so fällt das Monoflop in den Ruhezustand zurück und gibt Alarm.

Die Verweilzeit des Monoflops muß auf die gleichmäßig auftretende Folge der Impulse eingestellt sein, damit die Kontrollschaltung zuverlässig arbeitet.
Soll die Schaltung zum Beispiel bei einer niedrigeren Impulsfrequenz eingesetzt werden, so muß die Verweilzeit verlängert werden.

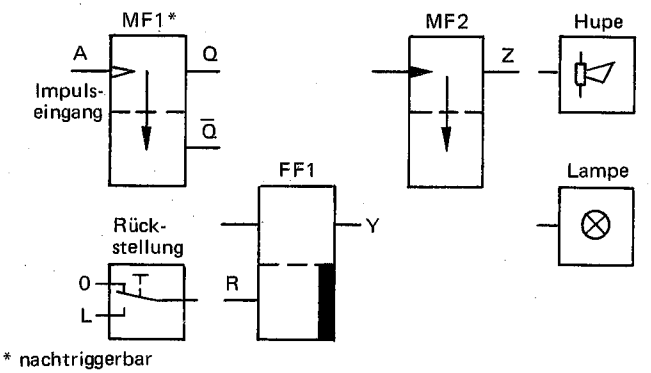
Übung 7/5 ?

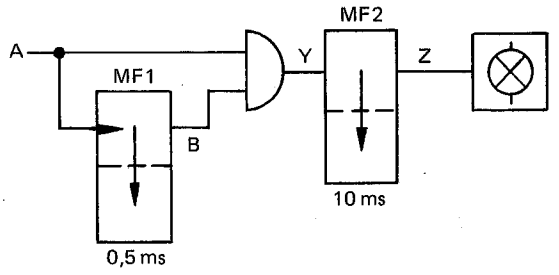
Die vorgegebenen Schaltelemente für die nebenstehende Impulslücken-Kontrollschaltung sollen so verbunden werden, daß bei einer Impulslücke, die innerhalb einer kontinuierlichen Folge von Impulsen am Schaltungseingang A auftritt,

a) ein zeitlich begrenztes Hupsignal ertönt und zusätzlich

b) ein Dauersignal von einer Lampe gegeben wird, das nur von Hand gelöscht werden kann.

Die Verweilzeit des Monoflops ist gleich der maximal zulässigen Impulslücke.





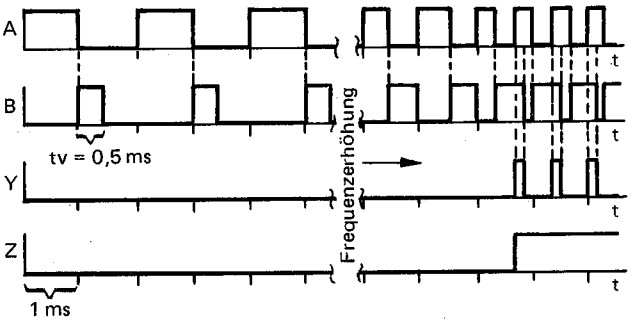


Bild 7/14. Schaltung zum Anzeigen des Erreichens bzw. Überschreitens einer Höchstfrequenzgrenze.

Schaltung zur Anzeige des Erreichens einer Impulshöchstfrequenz

Bei manchen Maschinen sind Höchstgrenzen, z. B. in bezug auf die Drehzahl von rotierenden Teilen oder die Anzahl von Arbeitstakten pro Zeiteinheit, zu beachten.

Bild 7/14 enthält eine Digitalschaltung, die das Erreichen eines bestimmten höchsten Frequenzwertes melden kann.

Ein UND-Glied mit zwei Eingängen erhält auf den einen Eingang die ankommenden Taktimpulse direkt. Auf den zweiten Eingang des UND-Gliedes liefert ein Monoflop (MF 1), welches durch einen Signalsprung von L auf O in den Arbeitszustand gesetzt werden kann, jeweils in den Impulspausen der eingespeisten Taktfrequenz Impulse.

Wenn bei einer niedrigen Frequenz eine Impulspause zunächst noch länger als die Verweilzeit des Monoflop 1 ist, wird das UND-Glied immer nur auf den einen oder den anderen Eingang L-Signal bekommen. Die UND-Bedingung wird zunächst nicht erfüllt.

Bei einer Erhöhung der Taktfrequenz werden die Impulspausen aber kürzer, bis schließlich eine Verweilzeit des Monoflops länger dauert als eine Impulspause.

Eingangsimpulse und Monoflop-Ausgangsimpulse beginnen sich zeitlich zu überlappen und in diesen Überlappungszeiten bringt das UND-Glied Ausgangssignale.

Durch das Monoflop 2 wird ein Flackern der Anzeigelampe vermieden.

Übung 7/6 ?

a) Ermitteln Sie aus dem Signal-Zeit-Plan in Bild 7/14 die Periodendauer der Anfangsfrequenz, die vor der Frequenzerhöhung vorhanden ist.
(Periodendauer T = Impulslänge t_i + Impulspause t_p)

b) Wie groß ist die Anfangsfrequenz, angegeben in Hz? ($f = \frac{1}{T}$).

c) Welche obere Frequenzgrenze f_g muß im Beispiel von Bild 7/14 überschritten werden, damit am Schaltungsausgang Z das L-Signal erscheint und die Signallampe aufleuchtet?

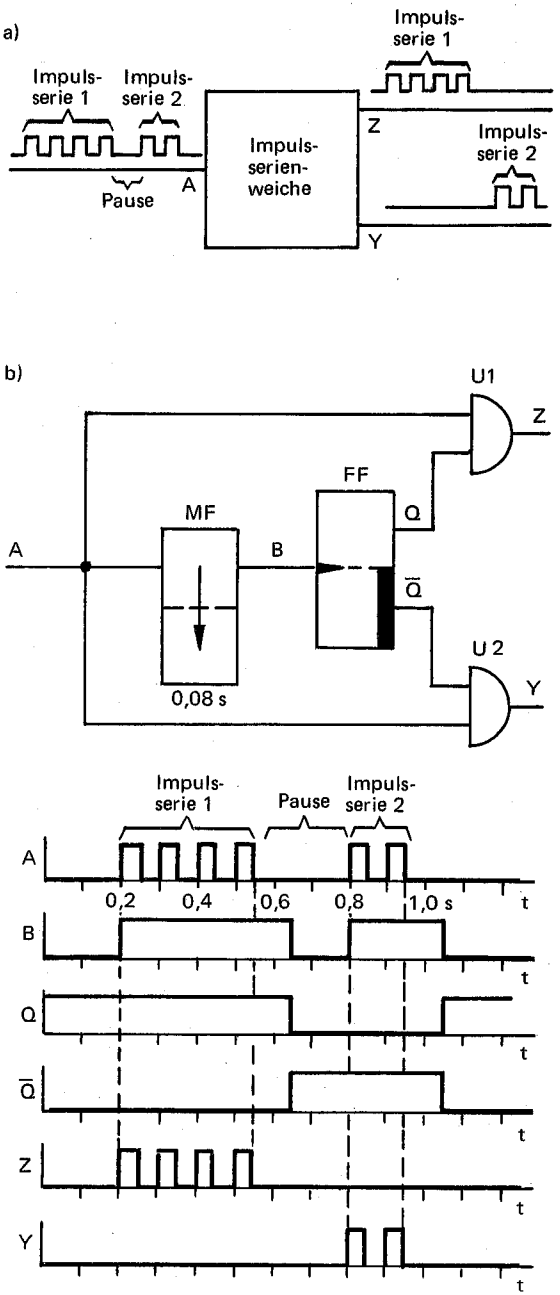


Bild 7/15. Impulsserienweiche.
a) Prinzip
b) Schaltung und Signal-Zeit-Plan

Impulsserienweiche

Es sei folgende Problemstellung gegeben, Bild 7/15 a:

Auf einer Signalleitung A können zwei durch eine Pause voneinander getrennte Impulsserien ankommen, die auf zwei verschiedenen Leitungen Y und Z zu zwei verschiedenen Empfängern geleitet werden sollen. Alle Einzelimpulse haben stets die gleiche Periodendauer.

Die auf Leitung A zuerst ankommende Impulsserie 1 soll auf die Leitung Z gelangen, während die nach einer gewissen Pause folgende Impulsserie 2 auf der Leitung Y weitergeleitet werden soll.

Die angegebene Aufgabenstellung besteht zum Beispiel, wenn Ziffern einer Telefonnummer gewählt werden. Die Ziffern werden als aufeinanderfolgende Impulsserien mit der Wählscheibe erzeugt und beim Aufbau einer Sprechverbindung automatisch an verschiedene Empfangsstellen (Schrittschaltwerke) geleitet und ausgewertet.

Eine digitaltechnische Schaltung, die in der geforderten Weise als Impulsserienweiche arbeiten kann, ist in Bild 7/15 b abgebildet:

Es sei hier angenommen, daß das Flip-Flop FF in der Schaltung am Ausgang Q L-Signal führt, wenn die erste Impulsserie ankommt. Die erste Impulsserie kann deshalb über das UND-Glied U1 zum Ausgang Z gelangen, während $Y = A \wedge \bar{Q} = A \wedge 0 = 0$ ist.

Mit dem allerersten Impuls der Impulsserie ist das statisch angesteuerte Monoflop MF gesetzt worden. Da dessen Verweilzeit etwas größer eingestellt ist als eine fest vorgegebene Impulspause zwischen zwei Einzelimpulsen einer Serie, bleibt das Monoflop während der gesamten Impulsserie gesetzt. Nach dem Ende der ersten Impulsserie fällt das Monoflop in den Ruhezustand zurück, ehe die zweite Impulsserie kommt. Der L-O-Signalwechsel an seinem Ausgang schaltet das durch fallende Signalflanken steuerbare Flip-Flop in den Ruhezustand um. Der Ausgang Q führt nun O-Signal, der Ausgang $\bar{Q}$ L-Signal.

Die zweite Impulsserie läuft nun, weil $\bar{Q}$ = L ist, über das UND-Glied U2 zum Ausgang Y. In der ihr folgenden Pause fällt das Monoflop, das vom ersten Impuls der zweiten Serie gesetzt worden war, wieder ab und triggert dadurch erneut das Flip-Flop. Eine dritte Impulsserie würde wieder über U1 laufen, eine vierte wieder über U2 usw.

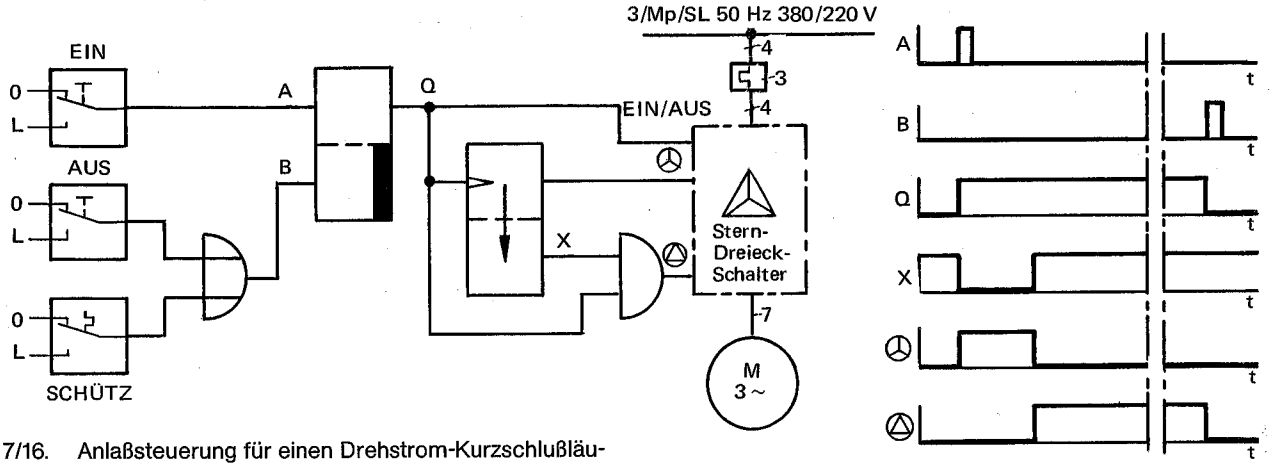


Bild 7/16. Anlaßsteuerung für einen Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motor mit selbsttätiger Umschaltung des Stern-Dreieck-Schalters.

Selbsttätige Stern-Dreieck-Umschaltung beim Anlassen eines Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motors

Um den Einschaltstrom zu begrenzen, werden Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren angelassen, indem ihre Wicklungen zuerst in Stern-, dann in Dreieckschaltung an das Drehstromnetz geschaltet werden. Die Umschaltung mit Hilfe des Stern-Dreieck-Schalters soll automatisch nach einer bestimmten Zeit durch eine Steuerschaltung erfolgen, Bild 7/16:

Beim Einschalten muß die Stern-Dreieck-Schalteinheit, die in der Zeichnung als Block dargestellt ist, zuerst die folgenden Befehle erhalten:

Zum einen den eigentlichen Einschaltbefehl „EIN", zum anderen den Befehl für die anfängliche Schalterstellung „STERN".

Da der Einschaltvorgang durch einen kurzen Tastendruck ausgelöst werden soll, muß der Einschaltbefehl auf Dauer von einem Flip-Flop gespeichert werden. Von dessen Ausgang gelangt das Einschaltsignal direkt auf den Eingang „EIN", und über ein in den Arbeitszustand gesetztes Monoflop gleichzeitig auf den Eingang „STERN" der Stern-Dreieck-Schalteinheit.

Der Motor wird somit in Sternschaltung angelassen. Nach Ablauf der Verweilzeit des Monoflops wird für das UND-Glied am Eingang „DREIECK" des Stern-Dreieck-Schalters die UND-Bedingung erfüllt. Indem nun der Eingang „DREIECK" L-Signal und der Eingang „STERN" O-Signal erhält, wird für den Motor die Umschaltung von der Sternschaltung in die Dreieckschaltung durchgeführt.

Ausgeschaltet werden kann der Motor sowohl durch einen Taster als auch durch einen Schutzschalter, der auf Überstrom anspricht. In beiden Fällen setzt der Aus-Befehl das Flip-Flop in die Ruhelage zurück.

Stern-Dreieck-Schalter zum Anlassen von Drehstrommotoren gibt es in elektromechanischer Ausführung und – unter Verwendung von Thyristoren – in vollelektronischer Ausführung.

Zwei Monoflops – ein Impulserzeuger

Aus zwei Monoflops läßt sich ein einfacher Rechteckimpulserzeuger aufbauen, wenn jeweils der Ausgang des einen Monoflops mit dem Eingang des anderen verbunden wird.

In der Schaltung in Bild 7/17 ist noch ein UND-Glied als Tor eingesetzt, so daß der Impulsgenerator durch ein L-Signal am Eingang S gestartet und gestoppt werden kann.

Vor dem Start befinden sich beide Monoflops in der Ruhelage. Vom Ausgang C des Monoflop 2 her liegt L-Signal auf einem Eingang der Torstufe. Wenn auf den Eingang S ebenfalls L-Signal gegeben wird, ist die UND-Bedingung erfüllt, am dynamischen Eingang des Monoflop 1 wechselt das Signal von O auf L. Das Monoflop 1 wird für eine Verweilzeit gesetzt. Wenn es in den Ruhezustand zurückkippt, erhält das Monoflop 2 L-Signal; es kippt in die Arbeitslage und während seiner Verweilzeit leuchtet die Lampe. Beim Rückkehren des Monoflop 2 in die Ruhelage wird vom Ausgang C über das Tor, auf dessen Eingang S immer noch L-Signal gegeben wird, das Monoflop 1 wieder gesetzt. Die einzelnen Wirkungsschritte laufen nun weiter wie beschrieben ab und wiederholen sich so lange, wie das Schaltsignal am Schaltungseingang S ansteht.

Die Taktfrequenz ist von der Verweilzeit beider Monoflops abhängig. Sind beide Verweilzeiten gleich groß, so stehen Impulsdauer und Impulspause im Verhältnis 1:1. Wird aber zum Beispiel die Verweilzeit des Monoflop MF1 verlängert, so verlängert sich die Impulspause (!) zwischen zwei Impulsen, während die Dauer der einzelnen Impulse unverändert bleibt. Die Periodendauer (= Impulsdauer + Impulspause) wird dadurch größer und die Impulsfrequenz niedriger!

Impulsgeneratoren, für die auch die Bezeichnungen Taktgeber, Oszillator oder Multivibrator gebräuchlich sind, werden in größeren Schaltungen mit einem zusammenfassenden Symbol dargestellt, wie Bild 7/18 zeigt. Die innere schaltungstechnische Ausführung eines Impulsgenerators ist aus dem Symbol nicht erkennbar, nur seine prinzipielle Funktion läßt sich ablesen.

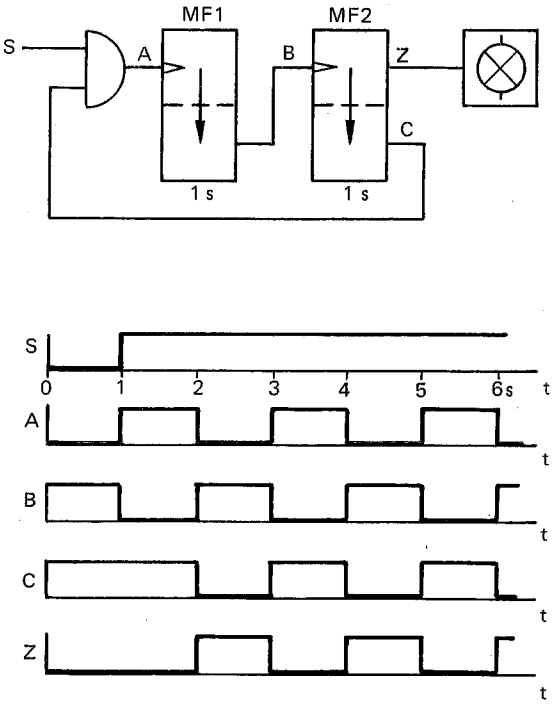


Bild 7/17. Impulsgenerator.

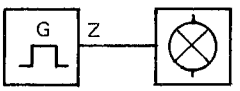
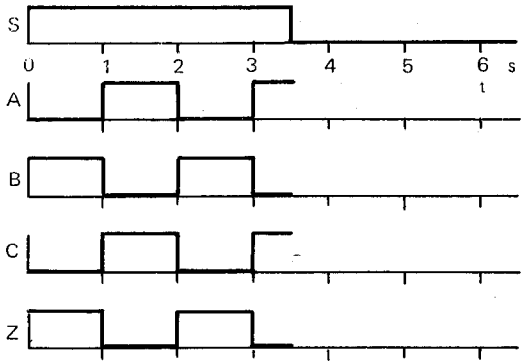


Bild 7/18. Symbolische Darstellung des Impulsgenerators mit angeschlossener Signallampe.

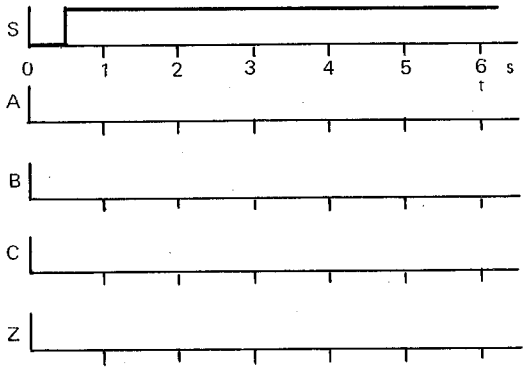
Übung 7/7

Ergänzen Sie den nebenstehenden Signal-Zeit-Plan, der zur Impulsgeneratorschaltung in Bild 7/17 gehört.



Übung 7/8

Zeichnen Sie den Signal-Zeit-Plan zur Impulsgeneratorschaltung in Bild 7/17, wenn angenommen wird, die Verweilzeit des Monoflop MF2 sei auf 0,5 s verkürzt worden.



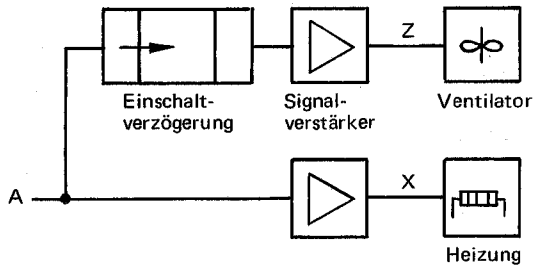


Bild 7/19a. Problembeispiel einer Einschaltverzögerung.

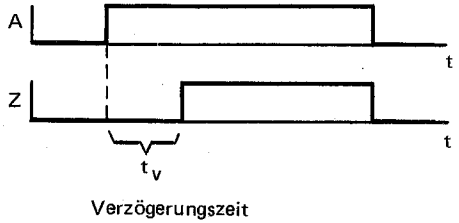


Bild 7/19b. Signal-Zeit-Plan des Zeitgliedes „Einschaltverzögerung".

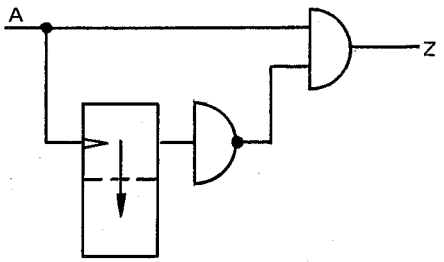


Bild 7/19c. Realisierung der Einschaltverzögerung mit einem Monoflop und Verknüpfungsgliedern.

Bild 7/19. Einschaltverzögerung.

Einschalten mit Verzögerung

Bei manchen Steuerungsaufgaben besteht die Bedingung, verschiedene Wirkungen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander auftreten zu lassen, damit ein sinnvoller Funktionsablauf erzielt wird.

In Bild 7/19 a ist als ein simples Problembeispiel eine Heizung mit einem Ventilator angeführt, wo die Notwendigkeit des verzögerten Einschaltens einer Apparatur gegenüber einer anderen besteht:

Wenn ein Einschaltbefehl am Schaltungseingang A gegeben wird, soll die Heizung sofort, der Ventilator hingegen erst dann in Betrieb gesetzt werden, wenn eine gewisse Aufheizzeit vergangen ist.

Dadurch soll vermieden werden, daß anfangs kalte Luft in einen Raum geblasen wird.

Das spätere Einschalten des Ventilators wird durch ein Schaltglied erreicht, das die Wirkung einer Einschaltverzögerung besitzt. Das Zeitglied „Einschaltverzögerung" wird durch ein spezielles Symbol in digitaltechnischen Schaltungen dargestellt, Bild 7/19 a. Sein prinzipielles Zeitverhalten zeigt der Signal-Zeit-Plan in Bild 7/19 b.

Für die innere Konstruktion der Zeitstufe „Einschaltverzögerung" gibt es die verschiedensten Ausführungsmöglichkeiten. Die Schaltung in Bild 7/19 c stellt ein mögliches Ausführungsbeispiel mit digitalen Schaltgliedern dar.

Durch das Zusammenwirken eines Monoflops mit einem NICHT- und einem UND-Glied wird das geforderte Verhalten erreicht:

Wenn ein L-Signal auf den Schaltungseingang A gegeben wird, bleibt am Schaltungsausgang Z zunächst weiterhin das O-Signal bestehen. Das UND-Glied bekommt zwar im Einschaltmoment auf den einen Eingang L-Signal, das bisher vom NICHT-Glied her anstehende L-Signal ist aber gleichzeitig verschwunden, weil das Monoflop in die Arbeitslage gesetzt wurde. Erst nach Ablauf der Verweilzeit bekommt auch der zweite Eingang des UND-Gliedes L-Signal, so daß nun am Schaltungsausgang L-Signal erscheint. Es verschwindet sofort, wenn am Schaltungseingang das Signal von L auf O wechselt.

Die Schaltung erfüllt damit die Bedingungen des Signal-Zeit-Planes von Bild 7/19 b.

Ausschalten mit Verzögerung

Ausschaltverzögerungen sind in praktischen Schaltungen ebenso nötig wie Einschaltverzögerungen.

Auch hierzu ein einfaches Beispiel:

Ein Lüfter, der zum Kühlen in einem Filmprojektor eingebaut ist, soll noch für einige Zeit nach dem Abschalten der Projektionslampe weiterlaufen, damit nachträglich keine ungünstige Wärmeverteilung im Gerät auftritt, Bild 7/20a.

In der Signalleitung zum Lüfter muß also eine Zeitstufe mit der Funktion „Ausschaltverzögerung" liegen.

Für das Schaltglied „Ausschaltverzögerung" ist das in Bild 7/20a verwendete Symbol üblich. Sein prinzipielles Zeitverhalten zeigt der Signal-Zeit-Plan in Bild 7/20b.

Auch für diesen Zeitglied-Typ sind verschiedene technische Ausführungen möglich.

Hier sei einmal die Aufgabe gestellt, mit einem zur Verfügung stehenden dynamisch ansteuerbaren Monoflop und Verknüpfungsgliedern eine Schaltung zusammenzusetzen, die insgesamt das Zeitverhalten einer „Ausschaltverzögerung" aufweist.

Solche Aufgabenstellungen ergeben sich in der Praxis manchmal, weil nicht immer jeder spezielle Zeitglied-Typ verfügbar ist.

Bild 7/20c zeigt eine mögliche Lösung:

Die Digitalschaltung mit dem Zeitverhalten „Ausschaltverzögerung" enthält neben dem dynamisch ansteuerbaren Monoflop noch ein NICHT- und ein ODER-Glied und arbeitet wie folgt:

Solange am Schaltungseingang A L-Signal ansteht, erhält der Schaltungsausgang Z direkt über das ODER-Glied L-Signal. Wenn das L-Signal am Schaltungseingang A verschwindet, entfällt zwar die direkte Versorgung des ODER-Gliedes mit L-Signal vom Schaltungseingang her; da aber durch den Signalwechsel das Monoflop gesetzt wird, wird von diesem nun L-Signal an das ODER-Glied bzw. an den Schaltungsausgang Z geliefert, bis die Verweilzeit abgelaufen ist.

Die als Ausschaltverzögerung wirkende einfache Schaltung funktioniert allerdings nur dann richtig im Sinne der Aufgabenstellung, wenn zwischen zwei Ausschaltvorgängen genügend Zeit, und zwar mehr als eine Verweilzeit des Monoflops, vergeht.

Auf erneute L-Signale, die während des Ablaufs einer Verweilzeit eintreffen, reagiert das in der Schaltung befindliche dynamisch ansteuerbare Monoflop nicht. Das heißt, der Ausschaltvorgang wird nicht weiter hinausgeschoben bzw. verlängert.

Wird letzteres verlangt, so muß als Ausschaltverzögerung ein statisch ansteuerbares Monoflop – falls es im Bausteinsystem zur Verfügung steht – oder eine aufwendigere Digitalschaltung verwendet werden.

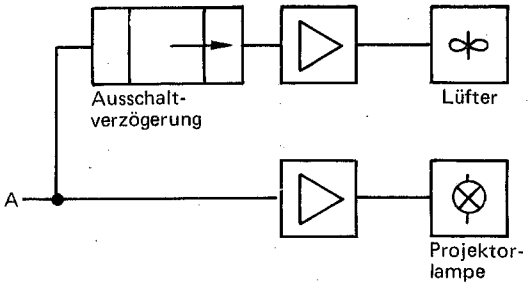


Bild 7/20a. Problembeispiel einer Ausschaltverzögerung.

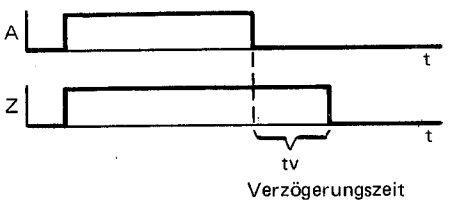


Bild 7/20b. Signal-Zeit-Plan der Zeitgliedes „Ausschaltverzögerung".

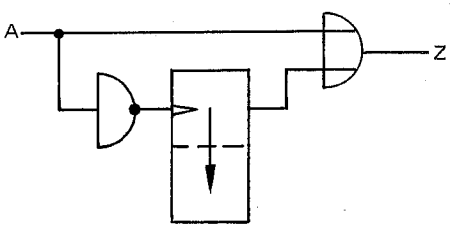


Bild 7/20c. Realisierung einer Ausschaltverzögerung mit einem Monoflop und Verknüpfungsgliedern.

Bild 7/20. Ausschaltverzögerung.

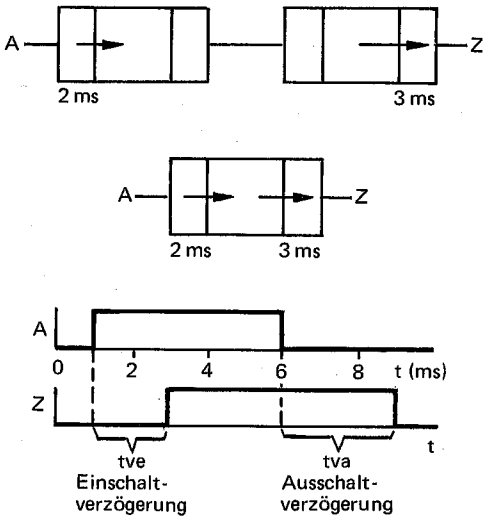


Bild 7/21. Schaltglied mit ungleicher Einschalt- und Ausschaltverzögerung.

Ein- und Ausschaltverzögerung mit ungleichen Zeiten

Zwei Zeitglieder, die für sich allein eine Einschalt- und eine Ausschaltverzögerung darstellen, können durch einfaches Hintereinanderschalten zu einem Zeitglied zusammengefaßt werden, das als Ein- und Ausschaltverzögerung arbeitet.

Für ein solches Zeitglied verwendet man in den Schaltplänen ein eigenes Symbol, an welches die Zeiten für die Einschalt- und die Ausschaltverzögerung geschrieben werden, Bild 7/21.

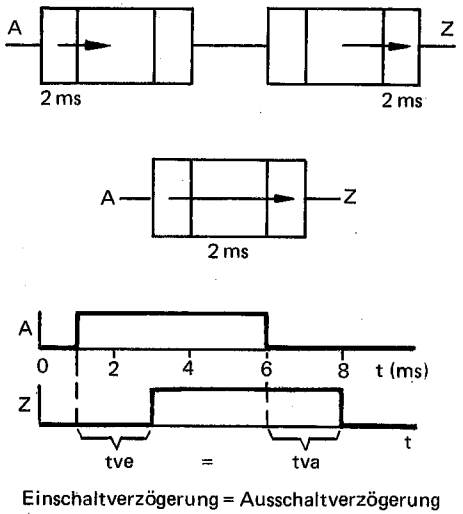


Bild 7/22. Schaltglied mit gleicher Einschalt- und Ausschaltverzögerung.

Ein- und Ausschaltverzögerung mit gleichen Zeiten

Ein Zeitglied, bei dem die Zeiten für die Einschalt- und Ausschaltverzögerung gleich groß sind, wird durch ein Symbol nach Bild 7/22 dargestellt.

Die Zeitangabe gilt für die Einschalt- wie für die Ausschaltverzögerung gleicherweise.

Mit einem Verzögerungsglied dieser Art lassen sich zum Beispiel kurze Impulse, deren Impulsbreite kürzer ist als die Verzögerungszeiten, noch einmal erzeugen.

In Bild 7/23 sind die verschiedenen Verzögerungsglieder zusammengestellt, um die Übersicht über ihre unterschiedlichen Zeitverhalten zu erleichtern.

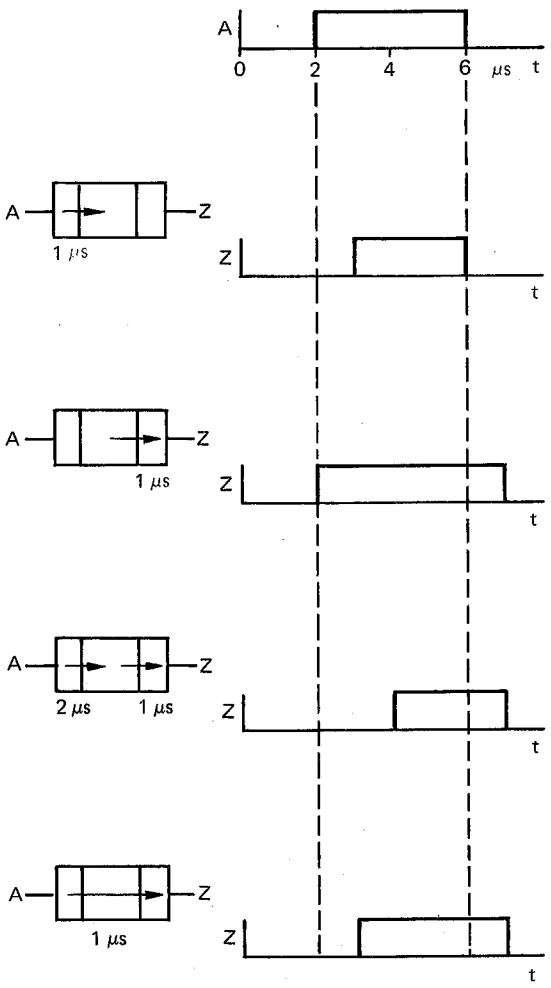
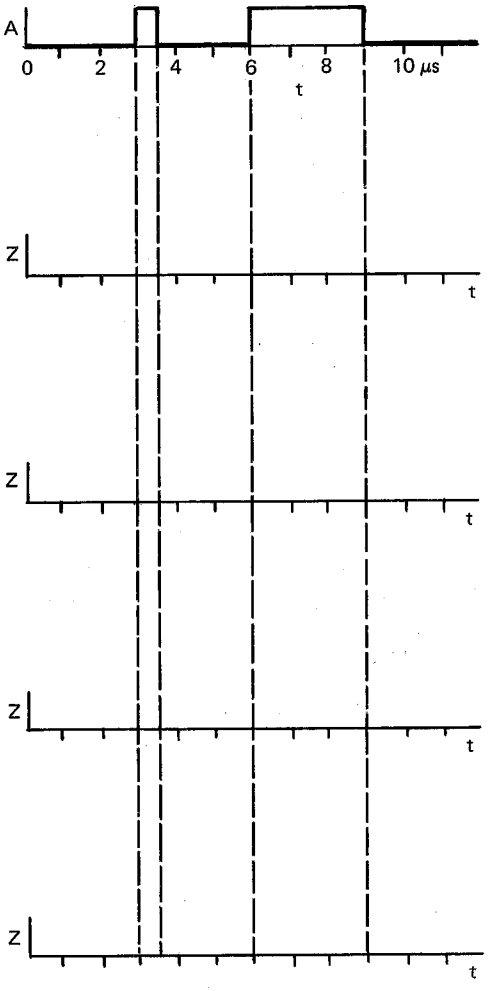


Bild 7/23. Übersicht über verschiedene Verzögerungsglieder und ihr Zeitverhalten.

Übung 7/9 ?

Ergänzen Sie die Signal-Zeit-Diagramme, die sich der Reihe nach auf die Verzögerungsglieder in Bild 7/23 beziehen.



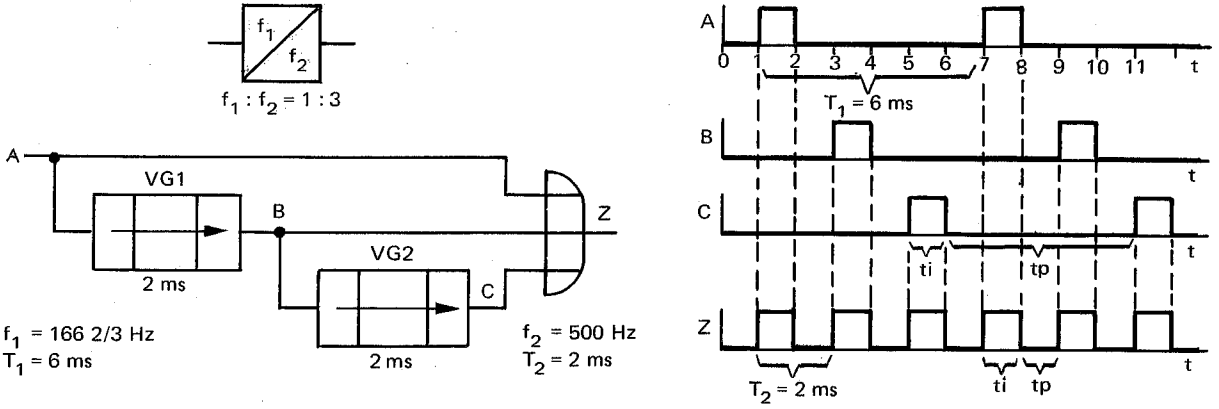


Bild 7/24. Beispiel für eine Frequenzvervielfacher-Schaltung mit Verzögerungsgliedern.

Frequenzvervielfachung mit Verzögerungsgliedern

Mit zeitabhängigen Schaltgliedern lassen sich Schaltungen aufbauen, die für Impulsfrequenzen als Frequenzvervielfacher mit bestimmten Übersetzungsverhältnissen verwendet werden können. Im folgenden wird eine Schaltung mit Verzögerungsgliedern erläutert, Bild 7/24, mit der für eine bestimmte Impulsfrequenz eine Frequenzverdreifachung erzielt wird:

Gegeben sei eine Grundfrequenz, bei der alle 6 ms ein kurzer Impuls auftritt. Die Periodendauer dieser Impulsfrequenz ist also T_1 = 6 ms, die Frequenz beträgt f_1 = 166 2/3 Hz.

Eine Frequenzverdreifachung wird erreicht, wenn während einer Periode des Eingangssignals nicht nur ein, sondern drei Impulse entstehen, wenn also am Schaltungsausgang nicht mehr alle 6 ms, sondern alle 2 ms ein Impuls erscheint.

Die Frequenz steigt damit auf das Dreifache, auf f_2 = 500 Hz. Die Periodendauer der Ausgangsfrequenz wird auf ein Drittel, auf T_2 = 2 ms, verkürzt.

Die Frequenzvervielfachung entsteht, weil während einer Periode der Eingangsfrequenz zwei Wiederholungen des Grundimpulses stattfinden. Diese Aufgabe übernehmen zwei Verzögerungsglieder. Das erste Verzögerungsglied wiederholt den Grundimpuls mit 2 ms Verzögerung, das zweite Verzögerungsglied wiederholt den schon einmal verzögerten Impuls noch einmal mit 2 ms Verzögerung. Der Grundimpuls und die Wiederholungsimpulse werden über eine ODER-Verknüpfung an den Schaltungsausgang geführt, so daß dort alle 2 ms ein Impuls ausgegeben wird.

Im Signal-Zeit-Plan von Bild 7/24 werden die Funktionsabläufe verdeutlicht.

Aus den Diagrammen lassen sich auch die Einschränkungen erkennen, denen die Vervielfacherschaltung unterliegt:

Erstens arbeitet die Schaltung nur in einem recht engen Grundfrequenzbereich einwandfrei.

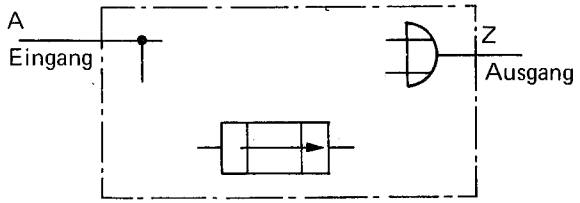
Zweitens muß die Impulsbreite gegenüber der Impulspause klein sein (im vorliegenden Beispiel kleiner als 1/3 der Periodendauer), sonst entsteht durch Impulsüberlappung sogar ein Dauersignal am Schaltungsausgang.

Und drittens muß in Kauf genommen werden, daß das sogenannte Tastverhältnis t_i/t_p, das Verhältnis Impulsbreite zu Impulspause, durch die Frequenzvervielfacherschaltung verändert wird.

Übung 7/10

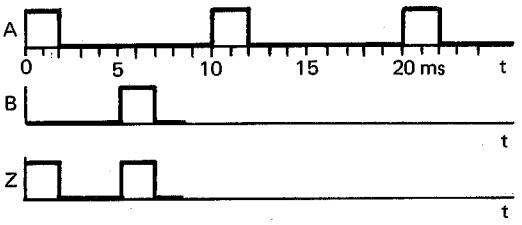
Eine Impulsfrequenz soll verdoppelt werden. Folgende Daten sind gegeben: Impulsfrequenz f_1 = 100 Hz (Periodendauer T_1 = 10 ms), Impulsdauer t_i = 2 ms.

a) Entwerfen Sie eine Frequenzverdopplerschaltung, die ein Verzögerungsglied und ein ODER-Glied enthalten soll.



b) Welche Verzögerungszeit muß das Zeitglied besitzen?

c) Vervollständigen Sie den Signal-Zeit-Plan.



d) Welche Tastverhältnisse (t_i/t_p) bestehen bei der Grundfrequenz f_1 und der Ausgangsfrequenz f_2?

Ein Multivibrator mit einem Verzögerungsglied

Ein recht einfacher Multivibrator (Rechteckgenerator) zur periodischen Erzeugung von Rechteckimpulsen läßt sich als Reihenschaltung eines Verzögerungsgliedes und einer Signal-Umkehrstufe (NICHT-Stufe) aufbauen.

Das heißt, das jeweils am Ausgang des Verzögerungsgliedes anstehende Signal wird durch die Umkehrstufe negiert und an den Eingang des Verzögerungsgliedes geführt.

Nur um den Multivibrator durch ein von außen kommendes Signal starten und stoppen zu können, ist in der Schaltung in Bild 7/25 noch ein UND-Glied eingefügt, das als Tor wirkt.

Wenn am Starteingang S ein O-Signal anliegt, befindet sich der Multivibrator in Ruhe. Am Eingang wie am Ausgang des Verzögerungsgliedes besteht der Signalzustand O; am Ausgang des NICHT-Gliedes und damit am Schaltungsausgang Z des Multivibrators herrscht der Signalzustand L als Dauersignal.

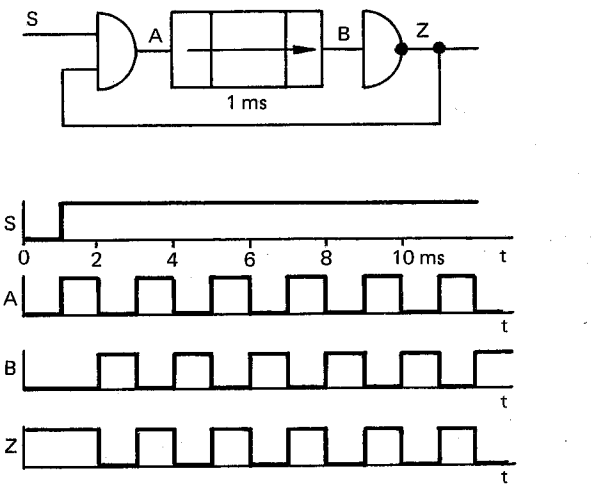


Bild 7/25. Multivibrator mit einem Verzögerungsglied.

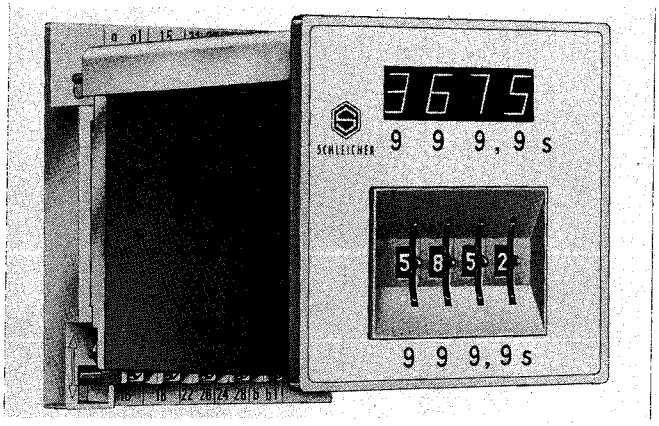


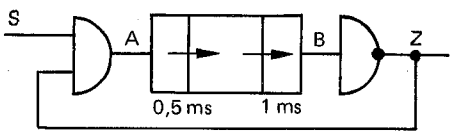
Bild 7/26. Programmierbare, digital einstellbare Universal-Zeitstufe.
Einstellzeiten von 0,1 bis 999,9 s, elektronische Innenschaltung mit integrierten Schalteinheiten, Einstellgenauigkeit durch einen Quarz-Taktgenerator ± 1ms, Frontmaße 72 mm x 72 mm.

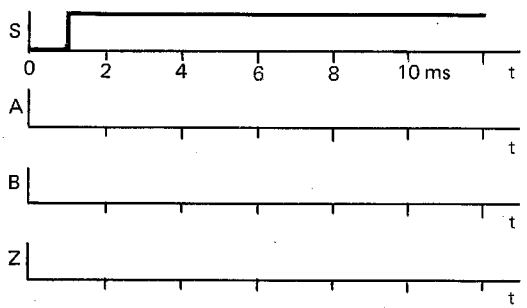
Übung 7/11 ?

a) Vervollständigen Sie den Signal-Zeit-Plan des untenstehenden Multivibrators.

b) Worin unterscheidet sich seine Arbeitsweise von der des in Bild 7/25 vorgestellten Typs?

c) Welche Periodendauer bzw. Frequenz wird erzeugt?





Wird die Torschaltung (das UND-Glied) am Multivibratoreingang durch das Anlegen eines L-Signals an den Eingang S geöffnet, so gelangt ein L-Signal zum Verzögerungsglied. Nach der vorgegebenen Laufzeit erscheint das L-Signal am Ausgang des Verzögerungsgliedes und wird durch die Umkehrstufe negiert.

Am Schaltungsausgang Z wechselt das Signal von L auf O. Dieser Wechsel wird sofort am Eingang des Verzögerungsgliedes wirksam und mit Verzögerung weitergeleitet.

Dann erfolgt am Schaltungsausgang Z ein Signalwechsel von O auf L. Auch dieser Wechsel durchläuft wieder das Verzögerungsglied, erscheint am Schaltungsausgang usw.

Im Signal-Zeit-Plan, Bild 7/25, wird das ständige Wechseln der Signalzustände deutlich. Es ist auch erkennbar, daß die Impulsbreite und die Impulspause gleich groß sind. Das Tastverhältnis t_i/t_p ist 1:1, weil hier ein Verzögerungsglied mit gleichen Ein- und Ausschaltverzögerungen verwendet wird.

Je kürzer die Verzögerungen sind, desto höher ist die Impulsfrequenz.

Warnsignalgabe vor dem Öffnen und Schließen von Zugtüren

Die Wagentüren von Personenzügen im Nahverkehr müssen häufig geöffnet und geschlossen werden. Ein- und Ausstiegszeiten sind kurz. Aus Sicherheitsgründen sollen die Passagiere jeweils kurz vor dem Öffnen bzw. Schließen der Zugtüren durch akustische Signale auf die bevorstehenden Türbewegungen aufmerksam gemacht werden.

Eine Steuerungsschaltung, mit der durch Knopfdruck gleichzeitig die Warnsignale und in zeitlicher Abstimmung der Türmechanismus ausgelöst werden, zeigt Bild 7/27:

Vom Zugführer wird durch kurzen Tastendruck der Befehl zum Öffnen der Türen gegeben. Dieser Befehl setzt ein Monoflop, wodurch ein auf 2 Sekunden begrenztes Schallsignal gegeben wird. Gleichzeitig wird der Öffnungsbefehl in einem Flip-Flop gespeichert und mit einer Verzögerung von 3 Sekunden über ein Verzögerungsglied zum Türmechanismus geleitet. Die Türen öffnen also erst, nachdem ein Warnsignal gegeben wurde.

Zum Schließen der Türen wird über eine zweite Taste ein Signal zum Rücksetzen des Flip-Flops gegeben. Zur gleichen Zeit wird wieder das zeitlich begrenzte Schallsignal über das Monoflop ausgelöst.

Das Steuersignal für den Türmechanismus wird nach dem Rücksetzen des Flip-Flops mit 7 Sekunden Verzögerung zurückgenommen. Mit dieser Zeitvorgabe haben nicht nur Passagiere, die gerade im Begriff sind, in den Zug zu steigen, sondern auch jene, die mitfahren wollen und sich noch auf dem Bahnsteig in der Nähe der Türen befinden, ausreichend Zeit, um einsteigen zu können.

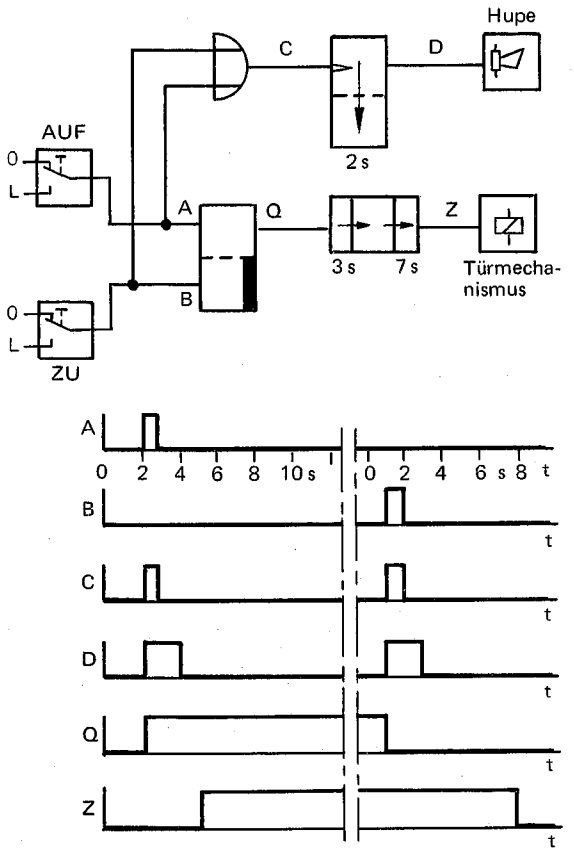


Bild 7/27. Schaltung zur Warnsignalgabe vor dem Öffnen oder Schließen von Zugtüren.

Übung 7/12 **Verständnisübung**

a) Sie haben in diesem Kapitel mehrere Monofloptypen kennengelernt, die sich untereinander teils durch die Art der Ansteuerung, teils durch ihr Zeitverhalten unterscheiden. Zählen Sie sie noch einmal auf.

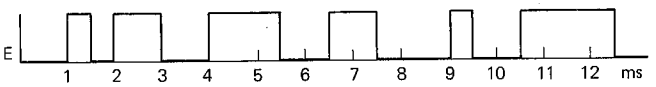
b) bis d) Erläutern Sie den Unterschied zwischen folgenden Typpaaren aus der Lösung von Übung 7/12 a).

b) Typpaar 1 und 2,
c) Typpaar 2 und 5,
d) Typpaar 1 und 3.

e) Welche der Monofloptypen 1 bis 5 der Lösung von Übung 7/12 a) kann man unter ausschließlicher Verwendung eines einzigen Zeitgliedsymbols darstellen? Warum ist das bei den anderen Typen grundsätzlich unmöglich?

f) Wie kann man ein nachtriggerbares Monoflop mit einem dynamischen Eingang (Ansteuerung durch positive Signalflanke, Verweilzeit 1,5 ms) mittels eines Dynamikvorsatzes und eines Zeitgliedes darstellen?

g) Ergänzen Sie folgenden Signal-Zeit-Plan für die Schaltung der Übung 7/12 f) mit den Diagrammen für *X* und *A*.



h) Wie kann man ein nicht nachtriggerbares Monoflop mit einem dynamischen Eingang (Ansteuerung durch positive Signalflanke, Verweilzeit 1,5 ms) mittels eines Dynamikvorsatzes, eines UND-Gliedes, eines Negators und eines Zeitglieds darstellen?

8. Schieberegister

Information wird gespeichert und verschoben

In letzter Zeit konnte man öfters – besonders über grösseren Städten – am Abendhimmel beobachten, wie an einem Luftschiff, Bild 8/1, als Werbeträger die verschiedensten Werbeinformationen in Form von Laufschriften, ja sogar Zeichentrickfilmen, gezeigt wurden. Die vielfältigen Informationen werden dabei von einer großen Anzahl farbiger Glühlampen (insgesamt fast 10000 Stück), die an der Außenseite des Luftschiffes angebracht sind, Bild 8/2, in Lichtsignale umgewandelt, so daß sich die entsprechende Werbeinformation farbenprächtig am Abendhimmel abhebt, Bild 8/3. Die Schaltung der einzelnen Lampen erfolgt dabei über eine von einem Rechner gesteuerte Leistungselektronik.

Sicher ist es interessant zu wissen, wie sich der zu beobachtende Bewegungsablauf, z. B. bei einer Laufschrift, technisch realisieren läßt.

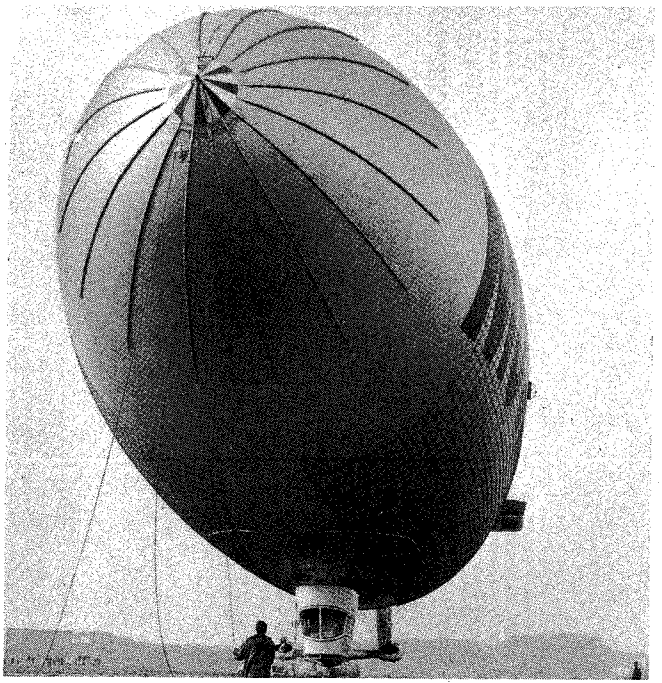


Bild 8/1. Reklameluftschiff der Westdeutschen Luftwerbung Mülheim/Ruhr.

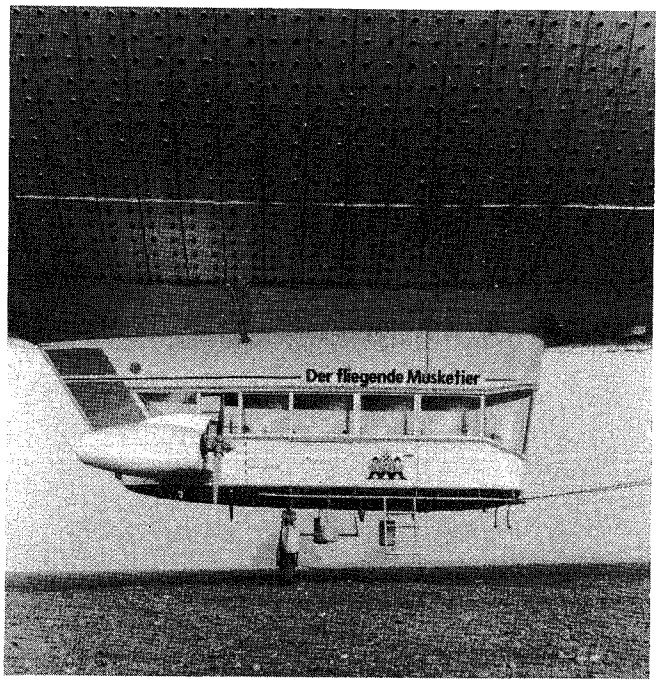


Bild 8/2. Großaufnahme des Lampenfeldes des Luftschiffs (2 x 5000 farbige Lampen, rot-grün-gelb-blau).

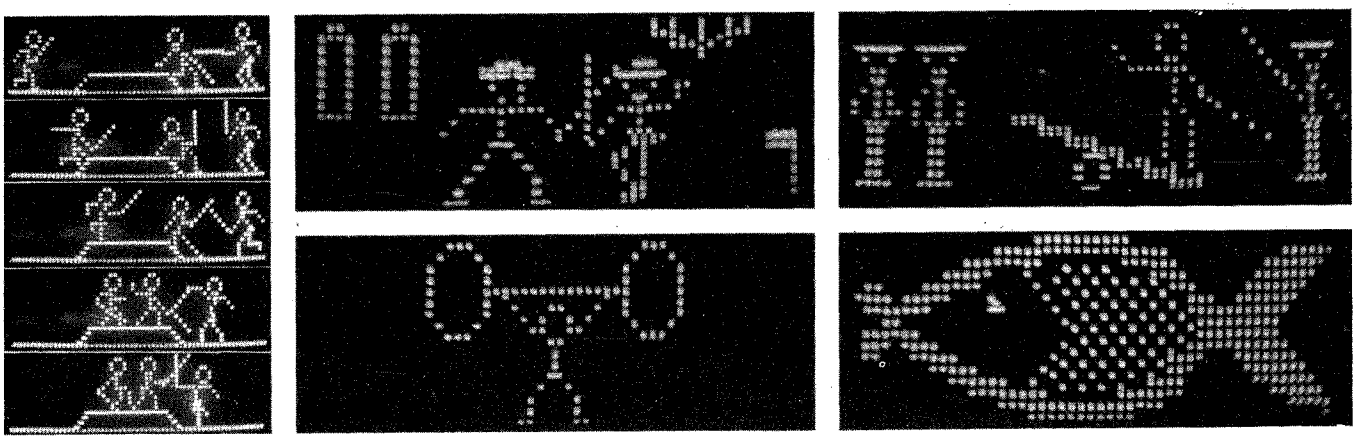


Bild 8/3. Zeichentrickphasen an der Außenhaut des Luftschiffs.

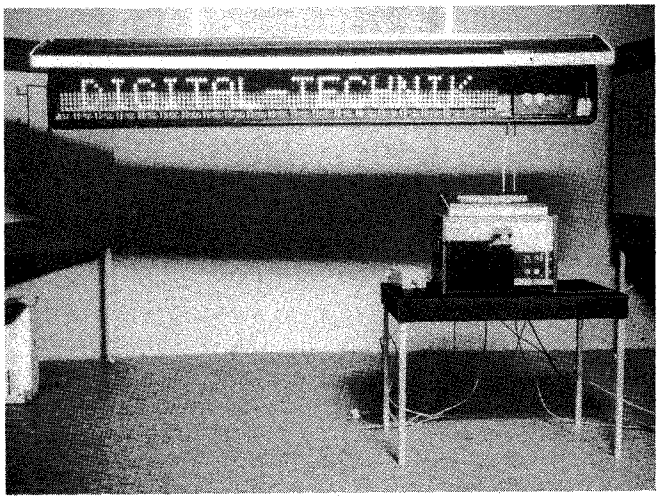


Bild 8/4. Elektronisch gesteuertes Laufschrift-System (V.K.S.-Visuelles Kommunikationssystem) der Fa. Philips.

Zur Klärung dieser Frage genügt es, wenn man sich an die auffälligen Laufschriften in unseren Großstädten erinnert, die z. B. die Passanten über die neuesten Nachrichten informieren sollen.

Bild 8/4 zeigt ein Gerät, mit dem solche Laufschriften erzeugt werden können. Jedes Wort, jeder Buchstabe wandert dabei schrittweise vom Anfang bis zum Ende der Tafel und zwar von rechts nach links. Daraus lassen sich zwei Schlußfolgerungen ziehen:

1. Jedes Wort muß zumindest über eine gewisse Zeit gespeichert werden.
2. Jedes Wort muß über die ganze Leuchttafel wandern können.

Man braucht also ein technisches System, das diese Forderungen erfüllt. Es muß Information speichern und verschieben können. Ein solches System bezeichnet man als „Schieberegister".

Merke:
Ein Schieberegister speichert und verschiebt Information.

Das gesamte Beispiel stellt bereits eine relativ komplizierte Anwendung eines Schieberegisters dar. Denn hierbei müssen, wie sicherlich bekannt ist, mehrere übereinanderliegende Lampenreihen angesteuert werden, um ein gut lesbares Schriftbild zu erzeugen. In Bild 8/5 ist ein Ausschnitt aus einer derartigen Lampenreihe dargestellt. Es brennen die 1., 2. und 4. Lampe. Da das Schriftbild ver-

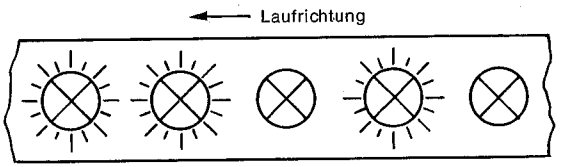


Bild 8/5. Ausschnitt aus einer Lampenreihe, erste Leuchtphase.

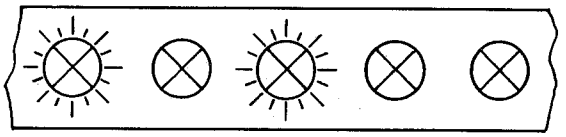
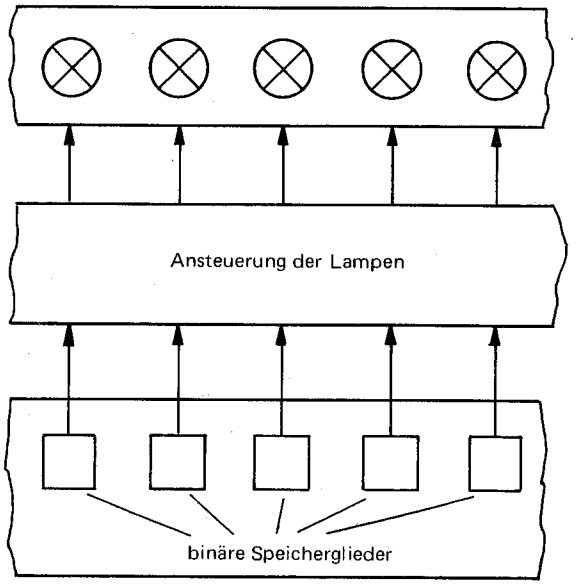


Bild 8/6. Ausschnitt aus einer Lampenreihe, zweite Leuchtphase.



Schieberegister

Bild 8/7. Ausschnitt aus dem Gesamtsystem einer Laufschrift.

schoben wird, müssen etwas später entsprechend Bild 8/6 die 1. und 3. Lampe brennen. Dabei wird angenommen, daß die Lampe unmittelbar rechts neben dem gewählten Ausschnitt nicht brannte. Bild 8/5 und Bild 8/6 unterschieden sich also nur dadurch, daß der Zustand „Lampe brennt" bzw. „Lampe brennt nicht" um eine Position weiter verschoben wurde.

Um einen derartigen Funktionsablauf realisieren zu können, müssen die Schalter für diese Lampen durch das logische Signal L bzw. 0 angesteuert werden. Da jede Lampe eine gewisse Zeitspanne leuchten bzw. nicht leuchten muß und dieser Zustand dann zur nächst folgenden Lampe weitergereicht wird, ist eine Speicherung des entsprechenden Zustandes erforderlich. Es wird jeweils nur zwischen den Zuständen L und 0 unterschieden. Deshalb verwendet man dazu zweckmäßigerweise binäre Speicherglieder, wie es in Bild 8/7 skizziert ist. Die Gesamtheit dieser Speicherglieder mit ihrer gegenseitigen Verknüpfung nennt man Schieberegister.

Merke:
Ein Schieberegister ist aus binären Speicherelementen aufgebaut.

Übung 8/1 ?

Eine Lampe soll durch die Betätigung einer Taste, die einen kurzen Impuls auslöst, eingeschaltet werden. Durch nochmaliges Betätigen der Taste wird sie wieder ausgeschaltet und so weiter. Die Steuerung soll mit Mitteln der Digitaltechnik realisiert werden.

Benötigt man zur Speicherung des Zustandes „Lampe EIN" bzw. „Lampe AUS" ein Schieberegister?

Speicherelement des Schieberegisters

Das J-K-Master-Slave-Flip-Flop*)

Wie müssen nun diese Speicherglieder aussehen und wie müssen sie miteinander verbunden werden, damit ein Verschieben der darin enthaltenen Information möglich ist.

Es soll zunächst das für den geforderten Zweck am häufigsten verwendete Speicherglied untersucht werden:

Das zweiflankengetriggerte J-K-Master-Slave-Flip-Flop (vgl. auch Kapitel 6). Warum man dieses Speicherglied so bezeichnet, wird etwas später erklärt. Das Symbol dieses Flip-Flops ist in Bild 8/8 dargestellt.

*) Das J-K- und das D-Flip-Flop sind bereits in Kap. 6 behandelt worden. Auf Grund der Bedeutung dieser Bauelemente werden Sie hier noch einmal aus der Sicht eines andern Autors, vor allem in Beziehung zur praktischen Anwendung in Schieberegistern erklärt.

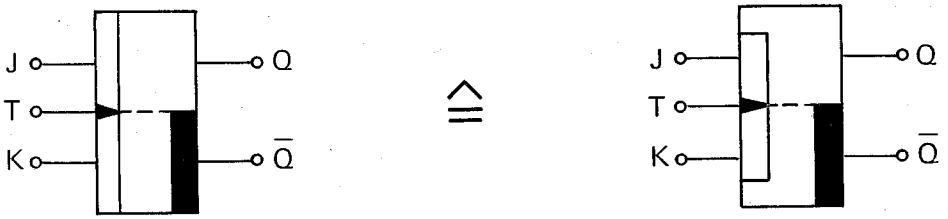


Bild 8/8. Symbole für das J-K-Master-Slave-Flip-Flop (Die Information wird mit der abfallenden Flanke auf die Ausgänge durchgeschaltet).

Mit J und K sind die sog. Vorbereitungseingänge gekennzeichnet. Der „Verschiebeimpuls", man spricht von Taktimpuls, muß an den Eingang T gelegt werden.

Q bzw. $\bar{Q}$ sind die Ausgänge, wobei $\bar{Q}$ zu jeder Zeit den negierten Zustand von Q annimmt. Man beschränkt sich deshalb nur auf die Betrachtung des Ausganges Q.

Anhand der in Bild 8/9 gegebenen ausführlichen Funktionstabelle des J-K-Flip-Flops soll dessen Arbeitsweise erklärt werden.

In dieser Tabelle sind drei unterschiedliche Zustandsgruppen zusammengefaßt: die beiden oberen Zeilen, die mittleren vier und die zwei unteren.

Die erste Gruppe ist gekennzeichnet durch $J = K = 0$. Bei dieser Belegung der Vorbereitungseingänge ist ein eintreffender Taktimpuls wirkungslos, der Zustand des Flip-Flops bleibt erhalten, es gilt also $Q^{n+1} = Q^n$. Dabei markieren die Indizes *„n"* bzw. *„n+1"* die Zeit vor bzw. nach der abfallenden Flanke des Taktimpulses.

Bei der zweiten Gruppe ist stets J ungleich K, mathematisch: $J \neq K$. Mit der abfallenden Flanke des Taktimpulses wird hier $Q^{n+1} = J$ (und der komplementäre Ausgang $\bar{Q}^{n+1} = K$), unabhängig von dem Zustand Q^n. Die an den Eingängen J und K anliegende, man könnte auch sagen „vorbereitete", Information wird also mit der abfallenden Flanke, d. h. zu einem sehr genau definierten Zeitpunkt, auf die Ausgänge Q und $\bar{Q}$ durchgeschaltet. Diese Eigenschaft gibt den Vorbereitungseingängen ihren Namen.

Vorbereitungseingänge		Zustand des FF vor Takt	nach Takt	
J^n	K^n	Q^n	Q^{n+1}	
0	0	0	0	$J^n = K^n = 0 \rightarrow Q^{n+1} = Q^n$
0	0	L	L	
0	L	0	0	$J^n \neq K^n \rightarrow Q^{n+1} = J$
0	L	L	0	
L	0	0	L	
L	0	L	L	
L	L	0	L	$J^n = K^n = L \rightarrow Q^{n+1} = \bar{Q}^n$
L	L	L	0	

Bild 8/9. Ansteuertabelle des J-K-Flip-Flops.

In der dritten Gruppe schließlich ist $J = K = L$. Die Wirkung dieser Beschaltung besteht darin, daß sich der Zustand des Flip-Flops mit jedem Taktimpuls ändert, d. h. $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$.
Damit sind alle möglichen Kombinationen der Eingänge J und K sowie des Zustandes Q^n erschöpft. Jede Kombination erzeugt mit der abfallenden Taktpulsflanke einen ganz bestimmten neuen Zustand Q^{n+1}, es treten keine undefinierten, d. h. nicht zuvor festgelegten Zustände auf, wie dies bei einigen anderen Flip-Flops mitunter der Fall ist.

Aus dieser Gegebenheit resultiert die universelle Verwendbarkeit des J-K-Flip-Flops.

Merke:
Das J-K-Master-Slave-Flip-Flop kennt keine undefinierten Zustände.
Der Ausgangszustand kann nur mit der abfallenden Flanke des Taktimpulses geändert werden.

Übung 8/2 ?

Betrachten Sie Bild 8/10. Welchen Signalwert muß T haben, damit jeweils eine der folgenden Aussagen gilt? Begründung?

a) Unabhängig von den an J und K anliegenden Signalwerten gilt für beide Eingänge des Masters bzw. Hauptspeichers $S_1 = R_1 = 0$.

b) Unabhängig von der Stellung des Hauptspeichers liegt auf beiden Eingängen des Nebenspeichers eine Null, d. h. $S_2 = R_2 = 0$.

Die Bezeichnung „Master-Slave"-Flip-Flop soll darauf hinweisen, daß sich dieses Speicherglied aus einem Haupt- (Master-) und einem Folge- (Slave-) Flip-Flop aufbaut. Bei diesen Flip-Flops handelt es sich um die bereits bekannten R-S-Speicherglieder, die entsprechend Bild 8/10 miteinander verknüpft sind.

Mit M ist das Master-Flip-Flop gekennzeichnet. Es soll nun die Schaltung von Bild 8/10 für eine der möglichen Zustandskombinationen erklärt werden. Dabei wird angenommen, daß vor Eintreffen des Taktimpulses ($T = 0$) J = L, $K = 0$, $Q = 0$ und $\bar{Q}$ = L sind. Dies bedeutet, daß sowohl S_1 als auch R_1 den Zustand 0 angenommen haben. Der Signal-Zeit-Plan dieses angenommenen Falles ist in Bild 8/11 über mehrere Taktzeiten dargestellt. Durch Eintreffen des Taktimpulses (T = L), d. h. frühestens mit dessen ansteigender Flanke, nehmen die Ausgänge der Gatter G_1 bzw. G_2 aufgrund der UND-Verknüpfung ihrer Eingänge die Werte L bzw. 0 an. An den Ausgängen von M wird dadurch der Zustand L/0 erzeugt. Die Ausgänge der Gatter G_3 und G_4 liegen jedoch so lange auf dem Zustand 0, wie der Taktimpuls andauert. G_0 negiert das Taktsignal, so daß je ein Eingang von G_3 und G_4 0-Signal führt, die Gatter sind gesperrt. Erst wenn der Taktpuls wieder abfällt, nimmt der Eingang S_2 den Zustand L an. Am Ausgang von S stellt sich dann also der Zustand L/0 ein. Dies entspricht genau dem Verhalten, das in der Funktionstabelle angegeben ist. Mit $T = 0$ sind die Eingänge der Gatter G_1 und G_2 ebenfalls 0, d. h. M und damit auch S behalten unabhängig von J und K ihren Zustand bei.

Entsprechende Überlegungen können auch für alle anderen Zustands-Kombinationen angestellt werden.

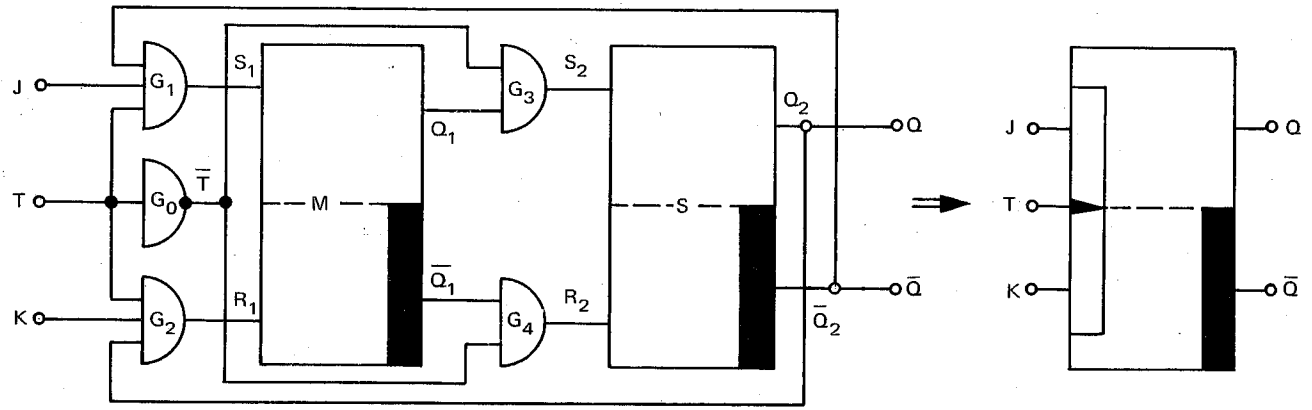


Bild 8/10. Prinzipieller Aufbau des J-K-Master-Slave-Flip-Flops.

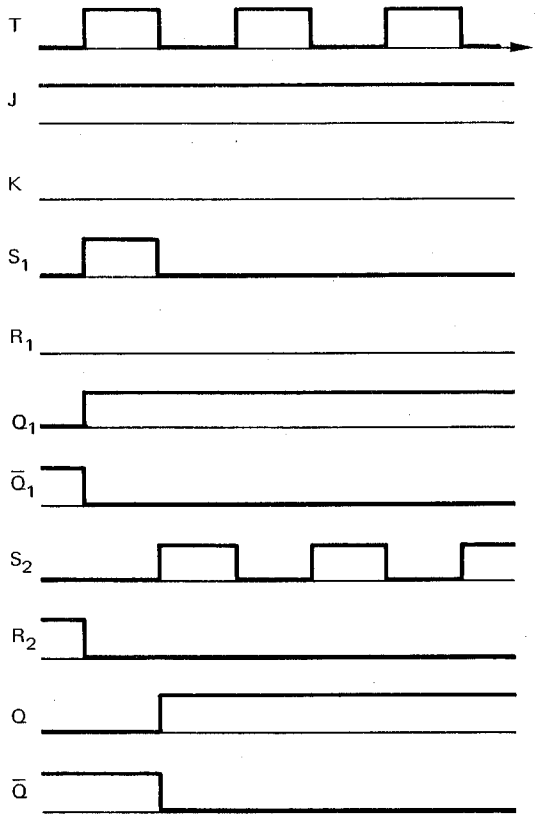


Bild 8/11. Impulsdiagramm zu Bild 8/10.

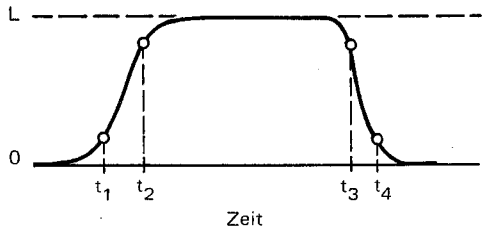


Bild 8/12. Zeitlicher Verlauf des Taktimpulses.
t_1 Slave von Master trennen,
t_2 Signal von J und K in Master eingeben,
t_3 J- und K-Eingänge sperren,
t_4 Information von Master nach Slave übertragen.

Die entscheidenden Zeitpunkte zeigt nochmals Bild 8/12.

Merke:
Das J-K-Master-Slave-Flip-Flop läßt sich prinzipiell aus zwei R-S-Flip-Flops und fünf Gattern aufbauen.

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt EV (DFVLR)
Forschungszentrum Braunschweig
Zentralbibliothek
33 Braunschweig, Flughafen

Übung 8/3 ?

Zu welchem Zeitpunkt wird beim JK-Master-Slave-Flip-Flop die an den Eingängen J und K liegende Information
a) in den Master bzw. Hauptspeicher übernommen? Begründung?,
b) in den Slave bzw. Nebenspeicher übernommen? Begründung?
c) Wann frühestens darf die von den Eingängen J, K her zu übernehmende Information geändert werden, d. h. wann ist der Vorgang „Information aufnehmen" beim JK-Master-Slave-Flip-Flop beendet?

Übung 8/4 ?

Umschaltvorgang eines JK-Master-Slave-Flip-Flops.

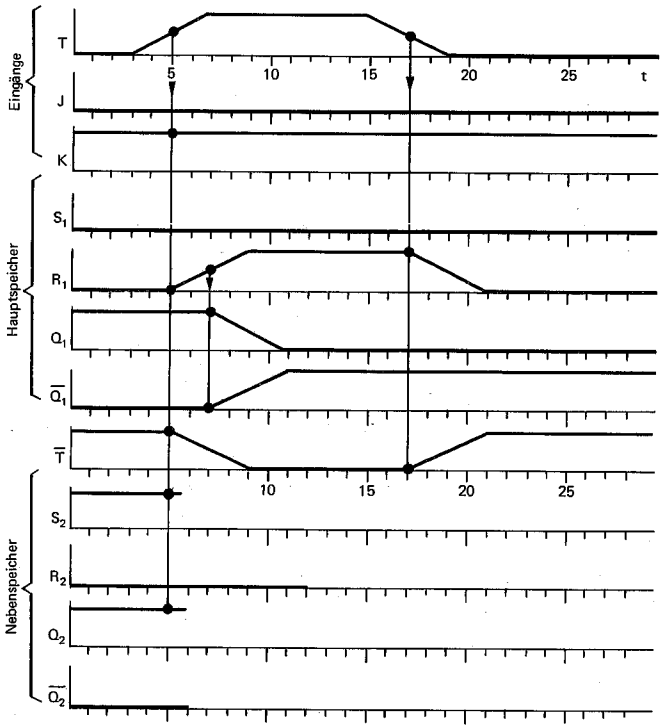
Wir haben bisher zur Vereinfachung angenommen, daß Schaltglieder wie UND-Gatter, Umkehrstufen oder RS-Flip-Flops ohne Zeitverzug auf Änderungen der an ihren Eingängen anliegenden Information reagieren. Das tatsächliche Verhalten digitaler Schaltungen wird etwas wirklichkeitsnäher so beschrieben:

- Die Signaländerung am Eingang muß eine bestimmte Schwelle überschreiten, bevor am Ausgang überhaupt eine Änderung einsetzt.
- Es verstreicht eine gewisse Zeitspanne bis am Ausgang der neue Signalwert erreicht ist.

Wir wollen das Zeitverhalten des Flip-Flops aus Bild 8/10 einmal unter folgenden Annahmen nachvollziehen:

- Der Ausgang eines jeden Schaltgliedes beginnt zu reagieren, wenn an den Eingängen 50% des Signalhubs überschritten wird.
- Die Pegeländerung am Ausgang erfolgt zeitproportional innerhalb von vier Zeiteinheiten.

Steht das Flip-Flop zunächst auf L ($Q_1 = Q_2 = L$) und gibt man folgende Signal-Zeit-Pläne für T, J und K vor, so ergibt sich für den Hauptspeicher der eingezeichnete Ablauf.



a) Warum beginnt zum Zeitpunkt 5 das Signal $\overline{T}$ von L auf 0 abzusinken?

b) Warum beginnt zum Zeitpunkt 5 das Signal R_1 von 0 an auf L anzusteigen?

c) Da $\overline{Q}_1$ zu L wird, könnte man das „Durchschlagen" eines L-Signals über das UND-Glied G_4 auf den Eingang R_2 des Nebenspeichers befürchten. Zu welchem Zeitpunkt überschreitet $\overline{Q}_1$ die kritische 50%-Schwelle?

d) Warum erfolgt zum Zeitpunkt 9 keine Änderung des Signalpegels am Ausgang des UND-Gliedes G_4?

e) Warum ist das Signal $\overline{T}$, das die Eingänge des Nebenspeichers gegenüber der Umschaltung des Hauptspeichers abschirmt, hinsichtlich der Signaländerung an den Ausgängen des Hauptspeichers zeitlich im Vorsprung?

f) Ergänzen Sie den Signal-Zeit-Plan für S_2, R_2, Q_2 und $\overline{Q}_2$.

Das erweiterte J-K-Flip-Flop

Bei dem J-K-Master-Slave-Flip-Flop wird wie vorher gezeigt die Information bei der positiven Flanke des Taktimpulses (0/L-Übergang) in den Hauptspeicher (Master) übernommen und gelangt bei der negativen Flanke (L/0-Übergang) des Taktimpulses an den Ausgang Q. Man bezeichnet deshalb das Master-Slave-Flip-Flop allgemein – wie vorher erwähnt – auch als „zweiflankengetriggertes" Flip-Flop.

Die im Handel erhältlichen J-K-Master-Slave-Flip-Flops sind meist „integrierte Bausteine", deren Aufbau erheblich komplizierter ist als gerade erläutert. So weisen diese im allgemeinen zusätzliche statische, also vom Taktimpuls unabhängige Eingänge auf. Will man z. B. in einem Schieberegister einen bestimmten Ausgangszustand herstellen, so bedient man sich dieser Eingänge. Die symbolische Darstellung eines derartigen Speichergliedes ist in Bild 8/13 gezeigt, auf die innere Schaltung wird später eingegangen werden (vgl. Seite 205).

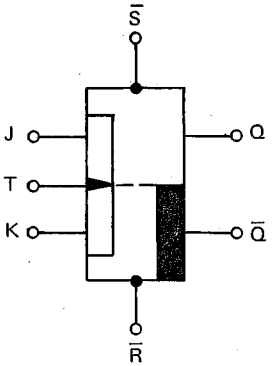


Bild 8/13. J-K-Flip-Flop mit statischen Eingängen.

Das D-Flip-Flop

Für Schieberegisteranwendungen sind neben J-K-Flip-Flops auch die sog. D-Flip-Flops (D von engl. delay: Verzögerung) in Gebrauch. Es handelt sich dabei der Schaltung nach um ein J-K-Flip-Flop, bei dem jedoch der K-Eingang nicht herausgeführt ist, sondern über ein NICHT-Gatter durch den J-Eingang angesteuert wird, wodurch also die Eingangskombinationen mit $J = K$ ausgeschlossen werden, Bild 8/14. Es bleibt also nur die mittlere Gruppe der schon bekannten Ansteuertabelle des J-K-Flip-Flops übrig (Bild 8/9), wobei der Eingang K entfällt und J jetzt die Bezeichnung D erhalten hat, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht:

D	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0
0	L	0
L	0	L
L	L	L

Für den Zustand nach dem Taktpuls ist also nur der Vorbereitungseingang D maßgebend, es ist stets $Q^{n+1} = D$, unabhängig von Q^n, d. h. der Ausgang Q nimmt nach dem Takt immer den Zustand an, den D vor dem Takt hatte, war D = L, so ist jetzt Q = L, war $D = 0$, so ist $Q = 0$. Alle übrigen Eigenschaften des J-K-Flip-Flop bleiben unverändert erhalten.

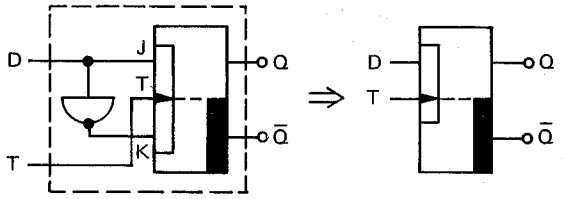


Bild 8/14. Das D-Flip-Flop (entwickelt aus J-K-Flip-Flop).

Üblicher Aufbau des Schieberegisters

Nachdem jetzt bekannt ist, mit welchen Speicherelementen das Schieberegister aufgebaut ist, soll nun anhand von Bild 8/15 das funktionsgerechte Zusammenwirken der einzelnen Elemente untersucht werden.

Verbindet man in der gezeigten Weise jeweils die Ausgänge Q und $\bar{Q}$ eines Flip-Flops mit den Eingängen J und K des nächst folgenden und steuert man alle Flip-Flops mit einem gemeinsamen Taktimpuls an, so wirkt diese Anordnung von binären Speicherelementen als Schieberegister. Dabei wird die Information in der angezeigten Richtung verschoben.

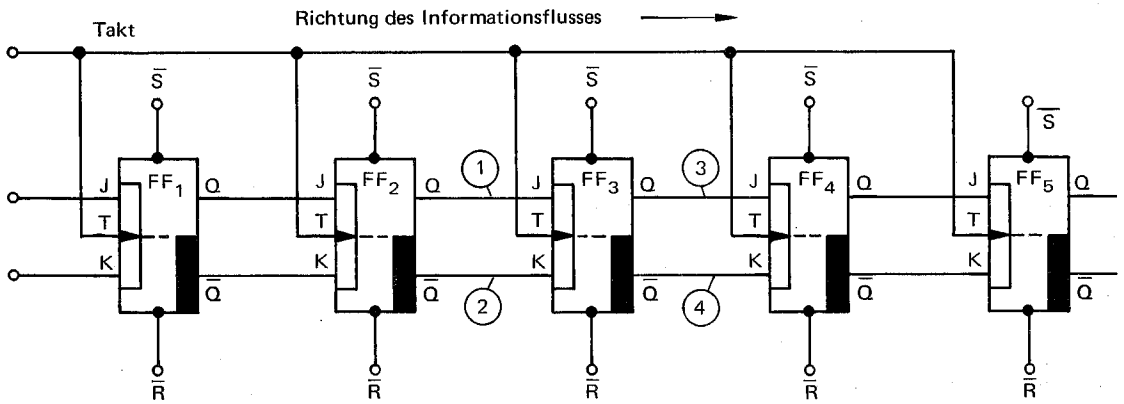


Bild 8/15. Schieberegister mit J-K-Master-Slave-Flip-Flops.

Diese Behauptung läßt sich leicht nachprüfen, indem man zwei hintereinander liegende Flip-Flops, beispielsweise FF2 und FF3 betrachtet. Angenommen: FF2 wäre gesetzt, d. h. es führte zum Zeitpunkt n an seinem Ausgang Q das logische Signal L (Punkt 1 des Bildes) und entsprechend an $\bar{Q}$ den logischen Pegel 0 (Punkt 2). Damit liegen dieselben Pegel an den Vorbereitungsgängen J und K von FF3. Mit der abfallenden Flanke des nächsten Taktimpulses – zum Zeitpunkt $(n + 1)$ – werden nach den bekannten Ansteuerbedingungen für das J-K-Flip-Flop diese Pegel auf den Ausgang von FF3 – Punkte 3 und 4 – durchgeschaltet. Der Zustand L/0 ist also um eine Position weitergeschoben worden. Ein solcher Verschiebevorgang kann an jeder Stelle innerhalb des Registers beobachtet werden.

Merke:
Im Schieberegister werden die Ausgänge der J-K-Flip-Flops jeweils mit den Vorbereitungseingängen der nächst folgenden verbunden. Die Taktansteuerung erfolgt synchron. (Takteingänge parallel)

Da die Information bei jedem Takt um eine Position weitergeschoben wird, liegt es auf der Hand, daß der im letzten Flip-Flop gespeicherte Zustand dabei verlorengeht, man sagt, „das letzte Bit wird herausgeschoben". Ebenso wie am Ende des Schieberegisters Information „herausgeschoben" wird, übernimmt das erste Flip-Flop je nach Beschaltung seiner Bedingungseingänge bei jedem Takt eine neue Information.

In Bild 8/16 ist dieses allgemeine Schieberegister nochmals mit D – anstelle der J-K-Flip-Flops aufgebaut. An der logischen Funktion ändert sich nichts, es entfallen lediglich die Verbindungen zwischen den $\bar{Q}$-Ausgängen und den K-Eingängen des jeweils folgenden Flip-Flops.

Übung 8/5 ?

Informationsaufnahme in ein Schieberegister.

Betrachten Sie das Schieberegister (Bild 8/16) aus D-Flip-Flops – angenommen, es seien JK-Master-Slave-Flip-Flops (Bild 8/10), bei denen $K = \bar{J}$ geschaltet ist. Damit dieses Register die Information 0LL0L aufnimmt, muß sie seriell, d. h. der Reihe nach, am Registereingang D in fünf aufeinanderfolgenden Takten angeboten werden. Der folgende Signal-Zeit-Plan zeigt den Ablauf, wobei sowohl die Stellung der Hauptspeicher (Master M) als auch der Nebenspeicher (Slave S) angegeben ist. Das „hintere" L der Bitserie 0LL0L kommt zeitlich zuerst am Registereingang an und wird der Reihe nach durch sämtliche Flip-Flops hin nach FF_5 geschoben. Daher wurde L_5 anstatt L geschrieben.

a) In welchen Haupt- bzw. Nebenspeichern befindet sich L_5 während
der 1. Hälfte des 1. Taktes (T = 0),
der 2. Hälfte des 1. Taktes (T = L),
der 1. Hälfte des 2. Taktes (T = 0) und
der 2. Hälfte des 2. Taktes (T = L)

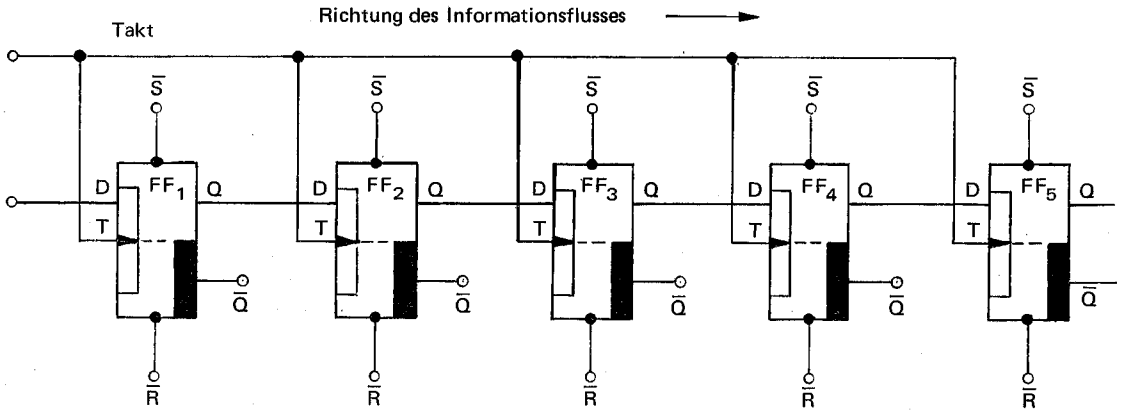


Bild 8/16. Schieberegister mit D-Flip-Flops.

b) In welchem Haupt- bzw. Nebenspeicher befindet sich L_5 während der 2. Hälfte des 4. Taktes?

c) Stellen Sie fest, wo – (in welchen Haupt- bzw. Nebenspeichern) – sich die Bits L_2, L_3 und 0_4 während der 2. Hälfte des 4. Taktes befinden.

d) Wo stehen die Bits L_2, L_3 und 0_4 während der 1. Hälfte des 5. Taktes?

e) Das hier betrachtete Schieberegister besteht aus insgesamt zehn Haupt- bzw. Nebenspeichern. Sie enthalten – vom ersten M_1 und letzten S_5 einmal abgesehen – jeweils paarweise dieselbe Information. Betrachten Sie dazu einmal die Paare M_1 und S_1, sowie S_1 und M_2 in der Lösung der Übung d).

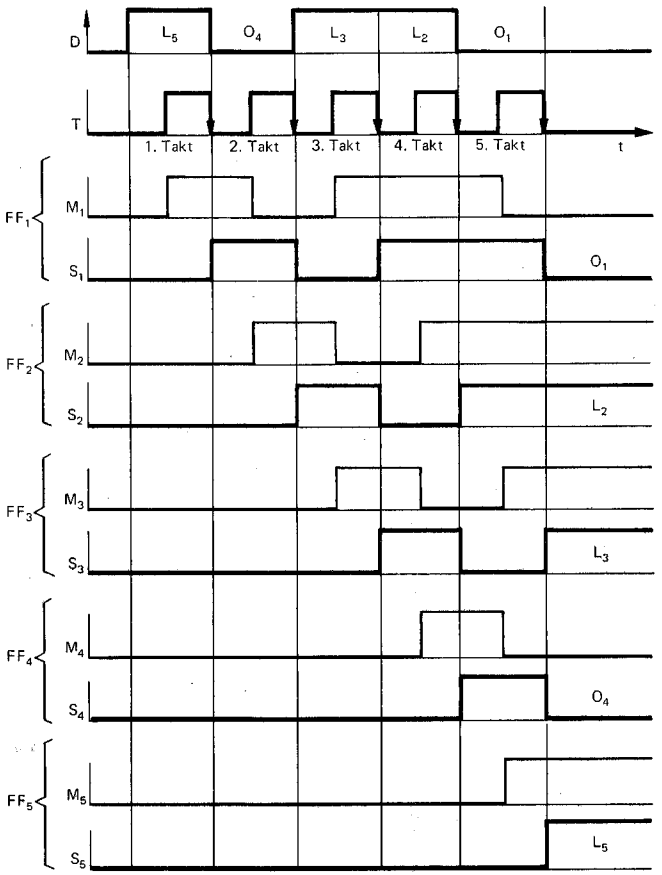
Welche Paare enthalten jeweils in der 1. Hälfte eines Taktes dieselbe Information, welche in der 2. Hälfte?

f) Betrachten Sie dieselbe Stellung zusammengehöriger Haupt- und Nebenspeicher als den normalen Speicherzustand eines Master-Slave-Flip-Flops. In welcher der Takthälften liegt dieser „normale Speicherzustand" vor? Mit welcher T-Flanke tritt er jeweils ein?

g) Angenommen, vor dem 1. Takt stünde in Flip-Flop 5 eine L –: $S_5 = M_5 = L$ –, während alle anderen Flip-Flops – wie auch im vorgegebenen Signal-Zeit-Plan – auf null stehen. Auch am Eingang D soll zeitlich alles so ablaufen, wie eingezeichnet. Was müßte man in dem Diagramm ändern?

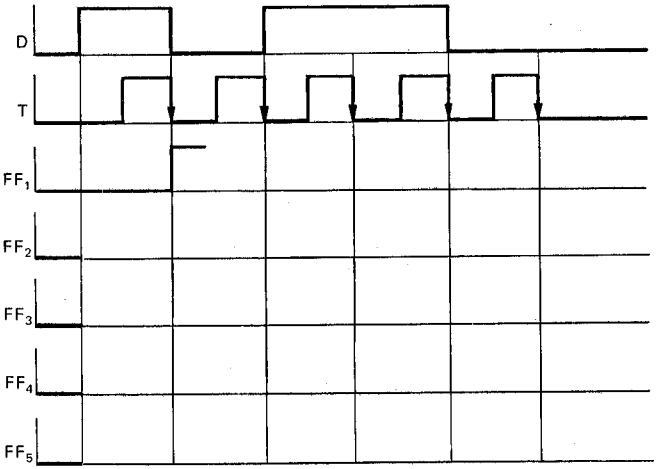
h) In der ersten Hälfte des 5. Taktes gilt $M_5 = 0$. Woher kommt diese Null bzw. wo stand sie in der 1. Hälfte des 1. Taktes?

i) In der 2. Hälfte des 4. Taktes ist $S_5 = 0$. Woher kommt diese Null, wo stand sie in der 1. Hälfte des 1. Taktes?



Übung 8/6 ?

Üblicherweise denkt man bei einem Schieberegister nicht mehr in Haupt- und Nebenspeichern, sondern interessiert sich nur noch für die Flip-Flop-Ausgänge, d. h. für die Stellung der Nebenspeicher, die dann als „die Stellung des Flip-Flops" gelten. Jedes Flip-Flop des Typs nach Bild 8/9 übernimmt – bei dieser Betrachtungsweise – mit fallender T-Flanke die Stellung seines Vorgängers und gibt gleichzeitig die eigene Stellung an seinen Nachfolger weiter. Vervollständigen Sie folgendes Diagramm.



Der Ringspeicher

Häufig ist man jedoch daran interessiert, eine im Schieberegister gespeicherte Information, man sagt „ein Bit-Muster", zyklisch zu wiederholen. Man benutzt hierzu einen sog. Ringspeicher, das ist ein Schieberegister, bei dem gemäß Bild 8/17 der Eingang D des ersten Flip-Flops mit dem Ausgang Q des letzten Flip-Flops verbunden ist. Das Bitmuster wird vor Beginn des Schiebevorganges über die statischen Eingänge S bzw. R eingelesen.

Beim Ringspeicher aus J-K-Flip-Flops sind dementsprechend die Ausgänge $Q/\bar{Q}$ des letzten Flip-Flops mit den Eingängen J/K der ersten zu verbinden, und zwar Q mit J und $\bar{Q}$ mit K.

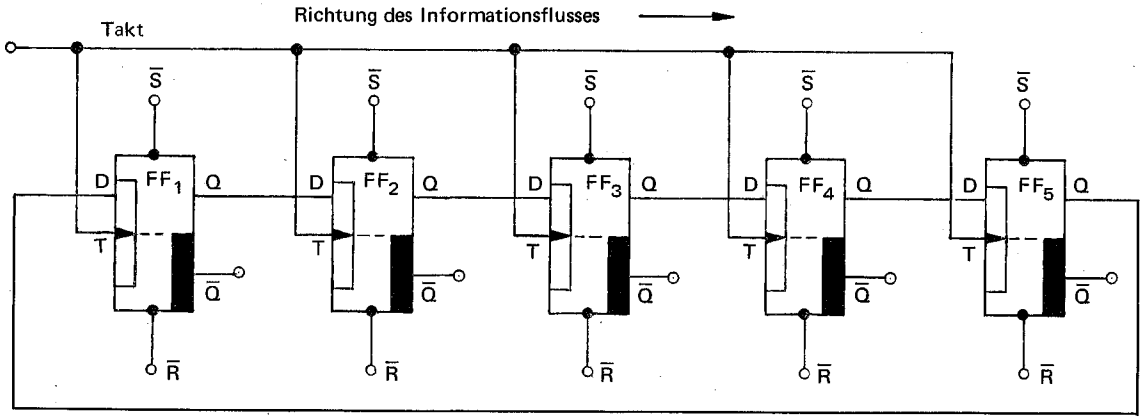
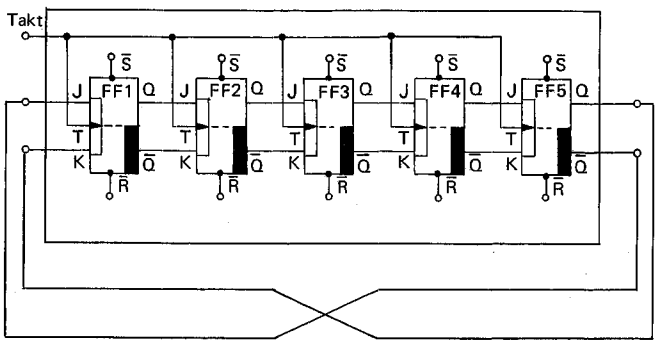


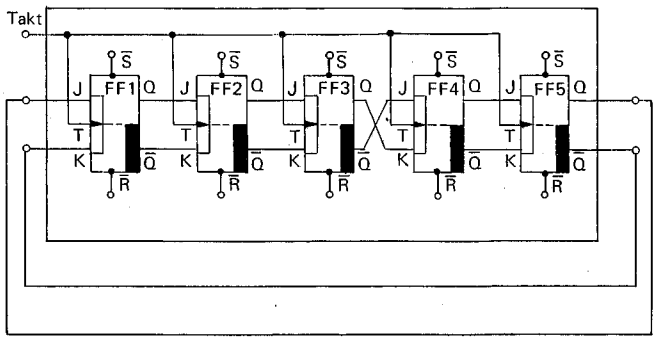
Bild 8/17. Ringspeicher mit D-Flip-Flops.

Übung 8/7 ?

a) Wie verhält sich der gemäß des unten stehenden Bildes abgeänderte Ringspeicher?



b) Wie unterscheidet sich der hier dargestellte Ringspeicher von dem unmittelbar vorher betrachteten?



Statische Eingänge beeinflussen den Zustand des J-K-Flip-Flops

Die Schaltung des bisher verwendeten J-K-Master-Slave-Flip-Flops wurde in Bild 8/18 durch die statischen Eingänge SETZEN und RÜCKSETZEN erweitert.

Solange die statischen Eingänge beide den Pegel L besitzen, hat die Schaltung die gleichen Eigenschaften wie ein einfaches J-K-Master-Slave-Flip-Flop (Bild 8/10). Zusätzlich ist nun jedoch zu beachten, daß Q immer dann den Pegel L annimmt, wenn SETZEN den Pegel 0 besitzt. Entsprechendes gilt für RÜCKSETZEN. Diese sehr häufig in der Praxis zu findende Ansteuerungsart wird aus folgenden Gründen gewählt:

Digitale Schaltkreise (IC's) sind meist so aufgebaut, daß offene, unbenutzte Eingänge von Verknüpfungsgliedern wie mit L-Signal beschaltet wirken. Deshalb wäre es ausgesprochen ungünstig, die statischen Flip-Flop-Eingänge mit L-Signal zu aktivieren, da man dann unbenutzte Eingänge nicht einfach unbeschaltet lassen kann. Deshalb wählt man also 0-Signal als das aktivierende. Um eventuell auftretende logische Schwierigkeiten von vornherein zu vermeiden, werden die statischen Eingänge im vorliegenden Text sowie bei vielen Herstellern mit $\overline{S}$ bzw. $\overline{R}$ bezeichnet. Es muß durch die äußere Beschaltung des J-K-Flip-Flops sichergestellt sein, daß nicht beide statischen Eingänge gleichzeitig auf 0 liegen. Von dieser Aussage abweichende Bedingungen müssen für ein bestimmtes Flip-Flop aus den jeweiligen Herstellerunterlagen entnommen werden. Deshalb ist zu beachten:

Merke:

0	an	$\overline{S} \Longrightarrow Q = L$	
0	an	$\overline{R} \Longrightarrow Q = 0$	
0	an	$\overline{R}$	Verboten
0	an	$\overline{S}$	
L	an	$\overline{S}$	Zustand bleibt unverändert
L	an	$\overline{R}$	

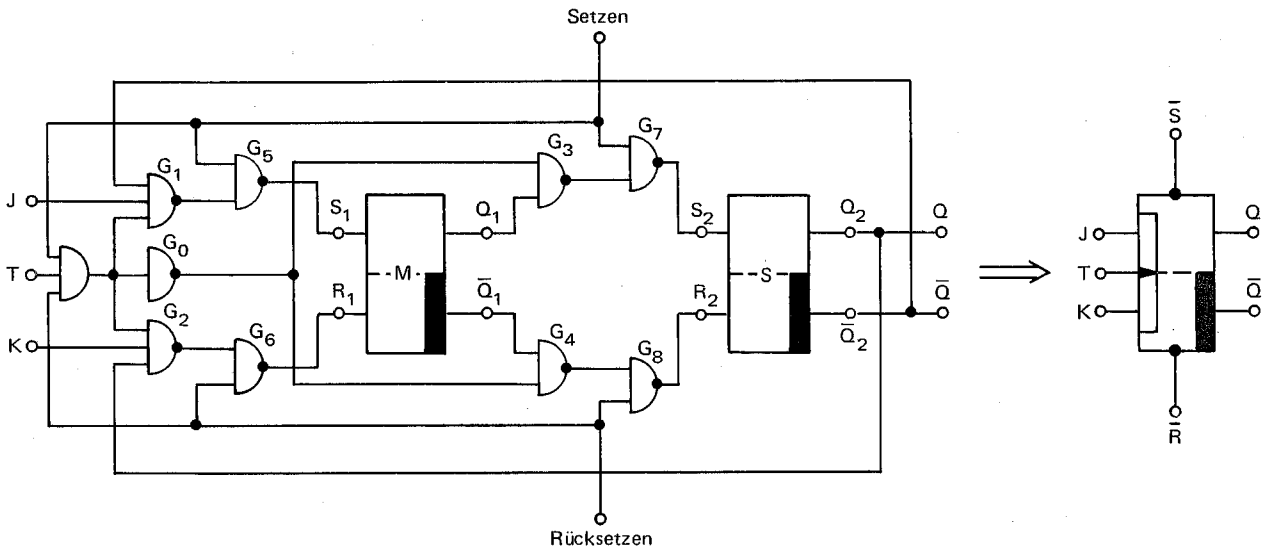


Bild 8/18. Möglicher Aufbau des J-K-Master-Slave-Flip-Flops mit den statischen Eingängen $\overline{S}$ und $\overline{R}$.

Übung 8/8 ?

Warum dürfen die beiden statischen Eingänge SETZEN und RÜCKSETZEN des JK-Flip-Flops nicht gleichzeitig den Zustand 0 annehmen?

Dateneingabe und Datenausgabe

Ein Bitmuster wird parallel eingelesen

Zur parallelen Dateneingabe in ein mit J-K-Flip-Flops aufgebautes Schieberegister verwendet man das in Bild 8/19 dargestellte Verknüpfungsnetzwerk (vgl. Kapitel 11). Es wird dabei von den Vereinbarungen ausgegangen, die bereits vorher für die statischen Eingänge $\overline{R}$ und $\overline{S}$ des J-K-Flip-Flops getroffen wurden. Es soll diese Schaltung kurz betrachtet werden.

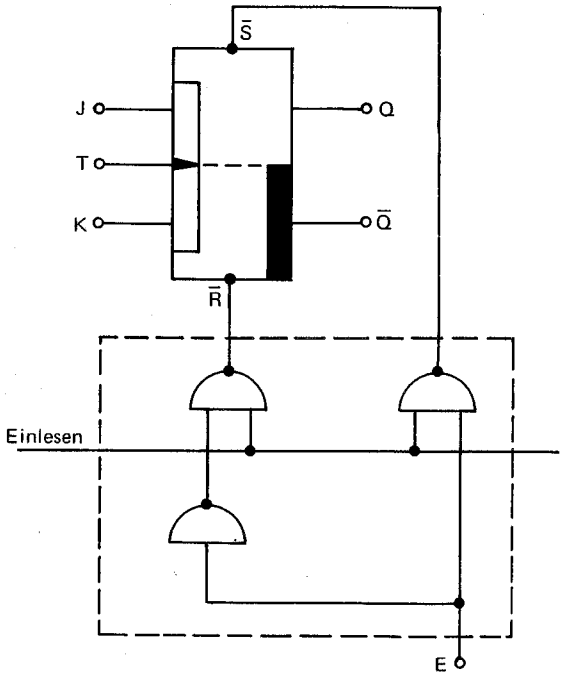


Bild 8/19. Beschaltung der statischen Eingänge.

Das Einlesen von Daten, d. h. bei einem einzelnen Flip-Flop des Zustandes L oder 0, ist immer dann „gesperrt", wenn die Leitung „EINLESEN" mit dem logischen Pegel 0 beschaltet ist. In diesem Fall nehmen die Ausgänge der beiden oberen Gatter (NAND-Gatter) den Pegel L an. Damit sind aber auch die Eingänge $\overline{R}$ und $\overline{S}$ des J-K-Flip-Flops unwirksam, d. h. das Flip-Flop wird von den statischen Eingängen nicht beeinflußt.

Liegt nun an „EINLESEN" der logische Pegel L, so wird der Zustand des Einganges „E" in das Flip-Flop übernommen. Denn besitzt „E" beispielsweise den Pegel 0, so wird an $\overline{S}$ der Pegel L und an $\overline{R}$ der Pegel 0 erzeugt, d. h. $Q/\overline{Q}$ nehmen den Zustand 0/L an.

Die parallele Eingabe von Daten in das gesamte Schieberegister wird entsprechend Bild 8/20 durch die gleichartige Beschaltung aller Flip-Flops ermöglicht.

Parallele Eingabe – serielle Ausgabe

Aus wirtschaftlichen Gründen steht bei der Verbindung räumlich entfernter Datensysteme, z. B. zwischen Datenerfassungsgerät und Computer, nur eine Datenleitung zur Verfügung. Bei derartigen Anlagen muß demnach dafür gesorgt werden, daß die parallel anfallenden Daten Bit für Bit, d. h. seriell übertragen werden. Man braucht also einen „Parallel-Serien-Umsetzer". Dies ist ein Schieberegister mit paralleler Dateneingabe, wie es in Bild 8/20 zu sehen ist.

Nach jedem Taktimpuls erscheint am Ausgang A bzw. $\bar{A}$ des letzten Flip-Flops des Schieberegisters jeweils ein weiteres Bit der ursprünglich über die Eingänge, in unserem Fall E1 . . . E5, eingelesenen Information.

Merke:
Der Parallel-Serien-Umsetzer ist ein Schieberegister zur Umwandlung paralleler in serielle Information.

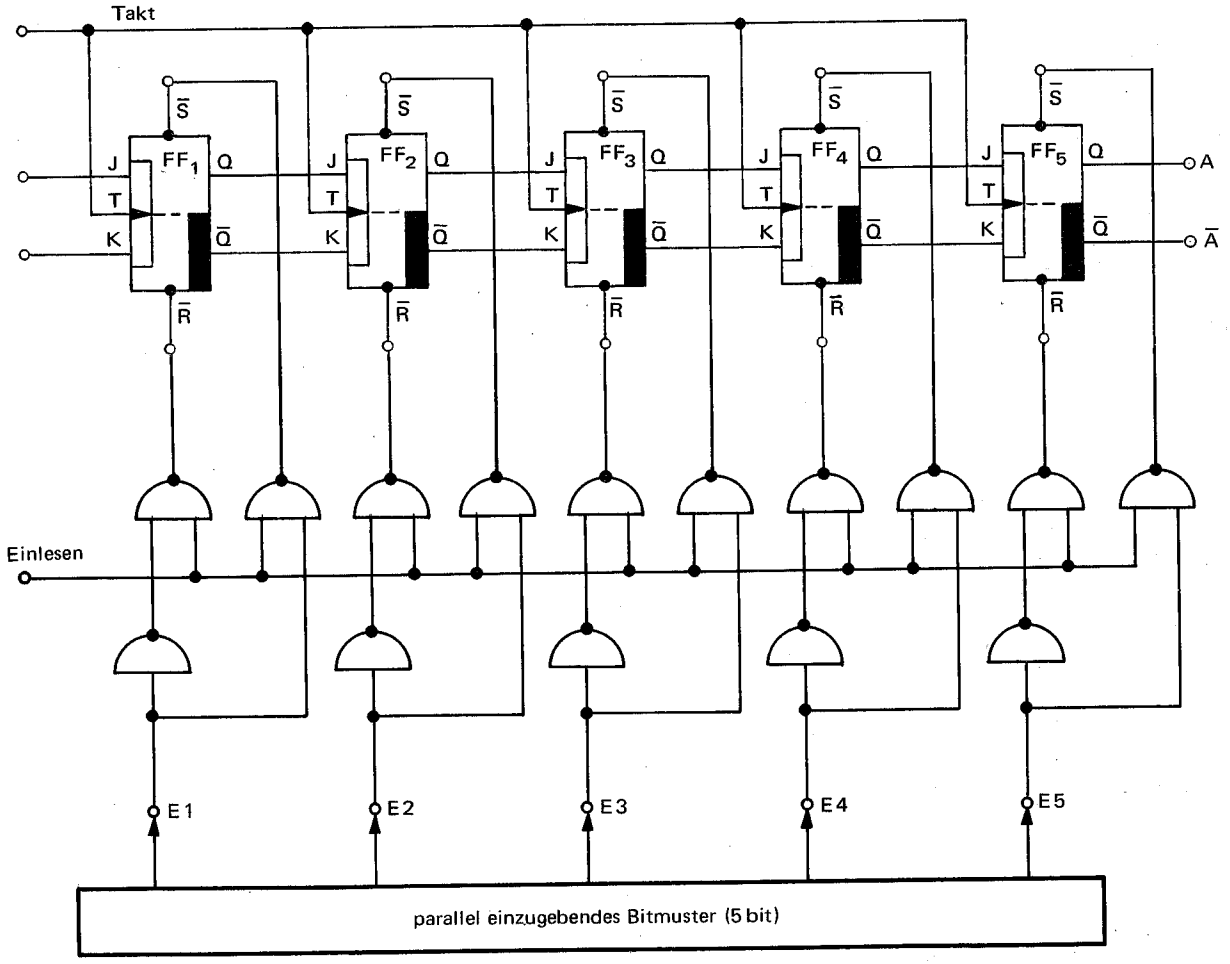


Bild 8/20. Schieberegister mit paralleler Eingabe.

Serielle Eingabe – parallele Ausgabe

Seriell eintreffende Information muß häufig parallel weiterverarbeitet werden. Man braucht also ein Gerät, das als Serien-Parallel-Umsetzer arbeitet. Dazu verwendet man wiederum ein Schieberegister, bei dem entsprechend Bild 8/21 die Ausgänge eines jeden Speichergliedes zugänglich sind. In unserem Fall sind dies die Ausgänge A1 . . . A5.

Mit der abfallenden Flanke jedes Taktimpulses wird ein neues Bit über die Eingänge E bzw. $\overline{E}$ in das erste Flip-Flop des Schieberegisters übernommen und die schon gespeicherte Information eine Stelle weitergeschoben. Es muß also so oft getaktet werden, bis das ganze Datenwort richtig – man sagt „rechts-bündig" – im Schieberegister steht. In dem hier benutzten Register mit einer Wortlänge von 5 Bit sind also auch 5 Taktimpulse notwendig. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, kann die Information parallel entnommen und weiterverarbeitet werden.

Merke:
Der Serien-Parallel-Umsetzer ist ein Schieberegister zur Umwandlung serieller in parallele Information.

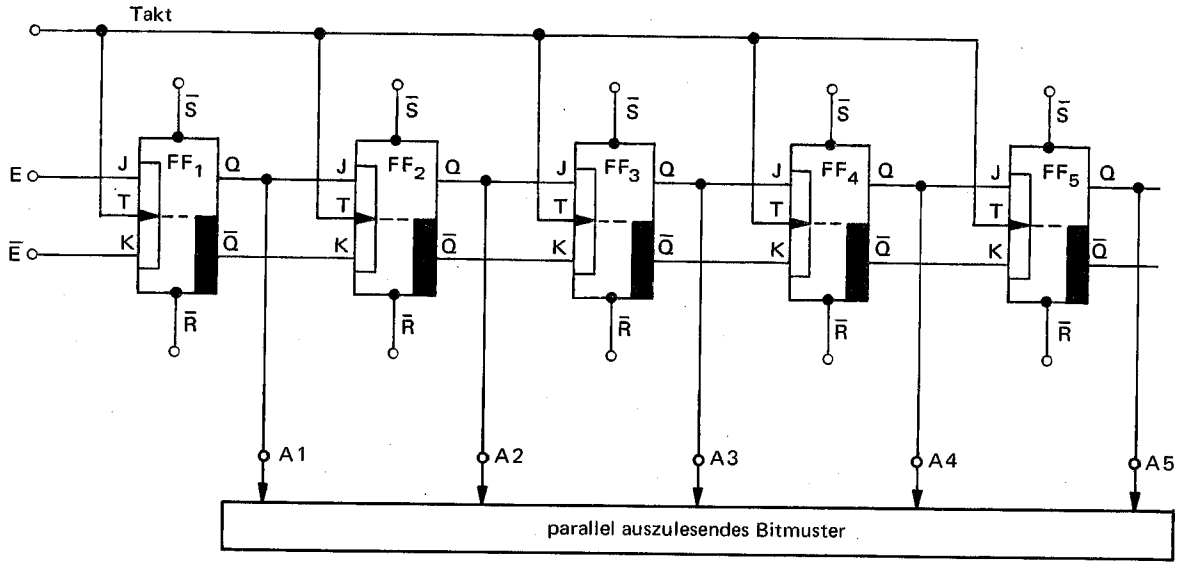


Bild 8/21. Schieberegister mit paralleler Ausgabe.

Datenübertragung mit Hilfe von Schieberegistern

Bild 8/22 zeigt schematisch die serielle Übertragung parallel vorliegender Daten und ihre Rückumwandlung in parallele Form. Mit den unmittelbar an die Übertragungsleitung anschließenden „Schwarzen Kästen" A und B soll symbolisiert werden, daß bei einer realen Übertragung noch gewisse weitere Maßnahmen erforderlich sein können; so muß, um nur ein Beispiel anzuführen, eine Synchronisation der Taktimpulse für beide Schieberegister vorgenommen werden, ohne daß hierfür eine zusätzliche Übertragungsleitung eingerichtet wird. (Näher wird auf diese Umstände in Kapitel 11 eingegangen.)

Anordnungen, wie die in Bild 8/22 skizzierten, stellen einen häufigen Anwendungsfall von Schieberegistern dar. Es werden immer zwei Schieberegister verwendet, die im allgemeinen die gleiche Wortlänge haben.

Es sind andere Systeme denkbar, so z. B. der Datenverkehr zwischen zwei Computern. Da hierbei über eine einzige Leitung Daten in beiden Richtungen übertragen werden, müssen die Schieberegister an den Enden der Übertragungsstrecke sowohl als Serien-Parallel-Umsetzer (beim Empfang einer Nachricht) als auch als Parallel-Serien-Umsetzer (beim Senden) arbeiten können.

Derartige Schieberegister mit zwei Funktionen finden auch bei einer Datenübertragung über kurze Entfernungen Verwendung, nämlich beim Verkehr von einem Computer mit einem sog. „Bedienblattschreiber". Dies ist ein Fernschreiber, mit dessen Hilfe der Dialog zwischen Operateur und Computer geführt wird. Der Fernschreiber ist eine seriell arbeitende Maschine, der Computer arbeitet im allgemeinen parallel. Jedem vom Fernschreiber verwendeten Zeichen, sei es eine Zahl, ein Buchstabe oder ein Steuer- oder Sonderzeichen, ist ein bestimmtes 5- oder 8-stelliges Bitmuster zugeordnet. Dieses Bitmuster wird vom Fernschreiber seriell erzeugt (beim Senden) oder verarbeitet (beim Empfangen). Zum Datenaustausch mit dem Computer ist also ein Schieberegister erforderlich, das mindestens 5 oder 8 Bit speichern kann und das als Serien-Parallel-Umsetzer und umgekehrt arbeitet. Zu diesem Schieberegister benötigt man noch eine Taktsteuerung, die auf die speziellen Erfordernisse des Fernschrei-

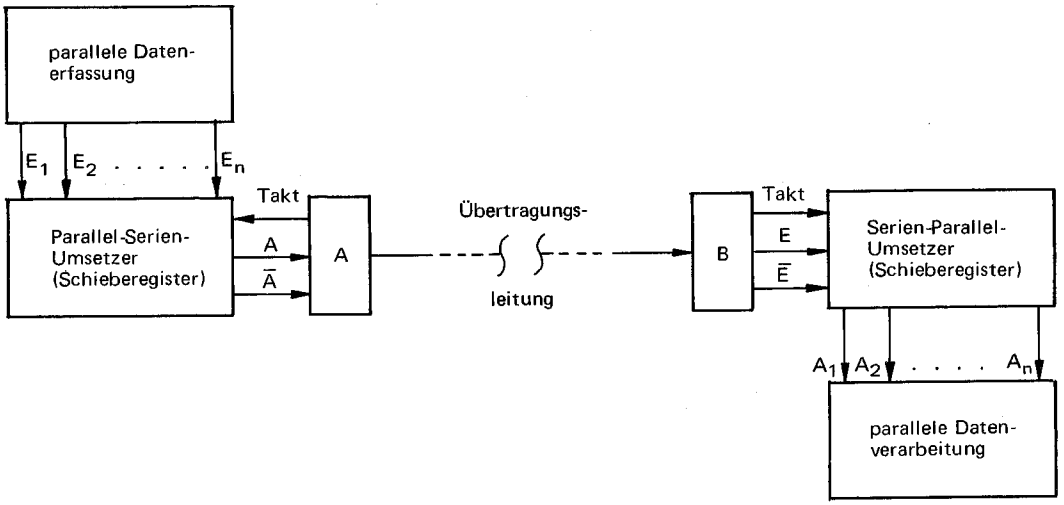


Bild 8/22. Serielle Übertragung paralleler Information.

bers abgestimmt ist. Die gesamte Anordnung bezeichnet man als „Fernschreib-Interface". Bild 8/23 zeigt eine schematische Darstellung eines solchen Systems.

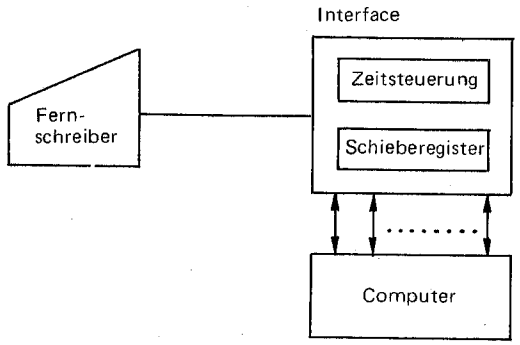


Bild 8/23. Datenverkehr Computer-Fernschreiber.

Übung 8/9

Angenommen, man kann je Mikrosekunde (0,000 001 s) 1 bit übertragen. Wie lange dauert unter dieser Voraussetzung

a) die Übertragung eines Wortes aus 20 bit bei paralleler Übertragung, und

b) die Übertragung eines Wortes aus 20 bit bei serieller Übertragung?

Übung 8/10

Warum verzichtet man auf Parallel-Serienumsetzer bzw. Serien-Parallelansetzer, wenn benachbarte, parallel arbeitende Geräte Daten austauschen müssen?

Informationen werden hin- und hergeschoben

Es wurde bisher ausschließlich die Informationsverschiebung in einer Richtung betrachtet. Bei bestimmten Anwendungsfällen muß das jeweilige Bitmuster nicht nur in einer Richtung, man sagt „vorwärts", sondern auch entgegen dieser Richtung, d. h. „rückwärts" geschoben werden. Zu diesem Zweck müssen natürlich die Ein- und Ausgänge der Speicherglieder anders als bisher verknüpft werden.

Mehrere Schieberegister werden parallel geschaltet

Die bisher beschriebenen Schieberegister hatten einen sehr einfachen Aufbau. Betrachtet man sie als einen Speicher für mehrere Worte – für das Schieberegister in Bild 8/24a wären es fünf Worte – so sieht man sofort, daß jedes Wort nur die Länge 1 Bit hat. (Es muß hierbei vermerkt werden, daß allgemein auch das in Längsrichtung gespeicherte Bitmuster als ein Wort bezeichnet wird.)

Fügt man nun zwei Schieberegister in der in Bild 8/24b gezeigten Form zusammen, d. h. steuert man sie mit dem gleichen Taktimpuls an, so hat man (in vertikaler Richtung) die Wortlänge erweitert, in dem hier gezeigten Beispiel auf 2 Bit.

Man könnte also durch eine derartige Maßnahme die Zustände 00, 0L, L0 und LL in diesem Schieberegister speichern bzw. entsprechend verschieben.

Durch Parallelschaltung eines weiteren einfachen Schieberegisters, Bild 8/25, wird die (vertikale) Wortlänge auf 3 Bit vergrößert, es können bereits acht unterschiedliche Zustände gespeichert werden. Mit jedem zusätzlichen Schieberegister verdoppelt sich diese Anzahl.

Es entsteht so eine flächenhafte, man sagt auch „matrixförmige", Anordnung von binären Speicherelementen.

Die Wirkung dieser Anordnung besteht darin, daß die in den (senkrechten) Spalten stehende Information mit jedem Taktimpuls um eine Spalte weitergeschoben wird. Jede Spalte kann nun einer entsprechenden Spalte in einem Lampenfeld zugeordnet werden. Der L-0-Verteilung in der Speichermatrix entspricht dann genau die Hell-Dunkel-Verteilung der Lampen. Durch regelmäßiges Takten erzeugt man so also die am Anfang erwähnte Laufschrift.

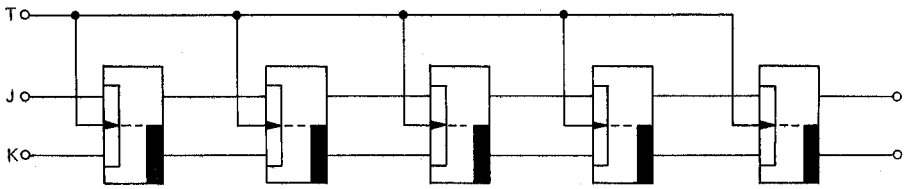


Bild 8/24a. Schieberegister: Vertikale Wortlänge 1 bit.

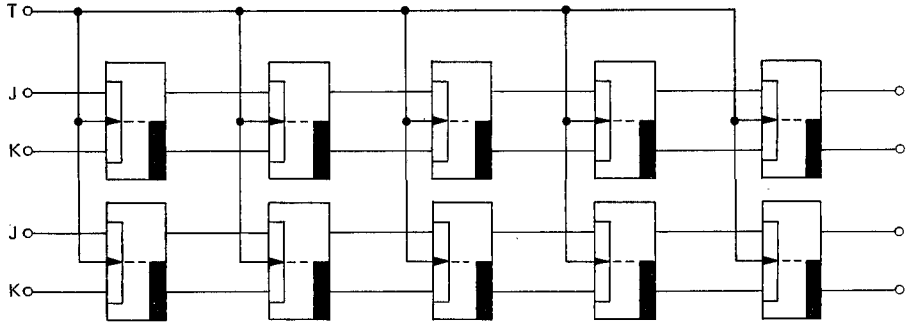


Bild 8/24b. Schieberegister: Doppelreihe weist auf vertikale Wortlänge von 2 bit hin.

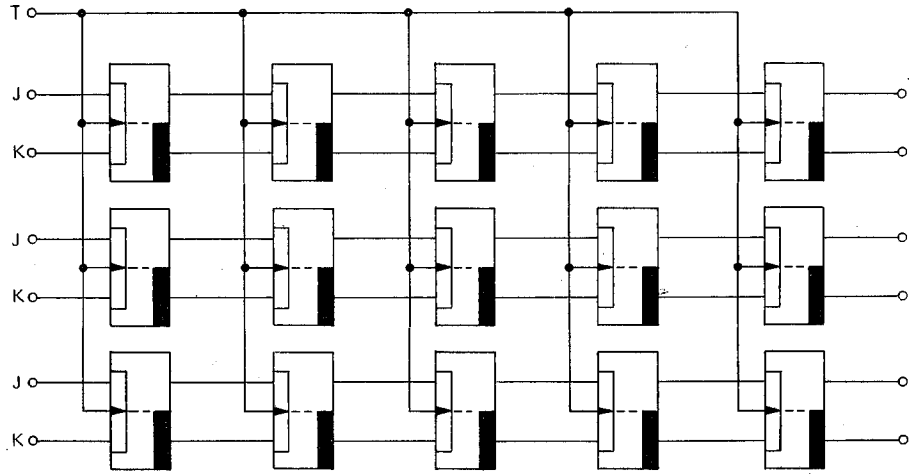


Bild 8/25. Schieberegister: Vertikale Wortlänge 3 bit (Dreierreihe).

Bisher ging die Betrachtung von den Flip-Flops der Schieberegister zu den Lampen des Lampenfeldes. Man könnte jedoch auch den umgekehrten Weg beschreiten und sagen: Die Speichermatrix ist ein Abbild des Lampenfeldes, oder sogar: die Speichermatrix ist ein virtuelles Lampenfeld, wobei „virtuell" in diesem Zusammenhang sagen will, Lampen (die Realität) und Flip-Flops (das Abbild) nehmen stets den gleichen Zustand an, der einzig relevante Unterschied besteht darin, daß die letzteren nicht leuchten. Eine andere Anwendung der matrixförmigen Speicheranordnung mit Schieberegister-Charakter ist die sogenannte virtuelle Kodierung im Zusammenhang mit Transport- und Sortiervorgängen.

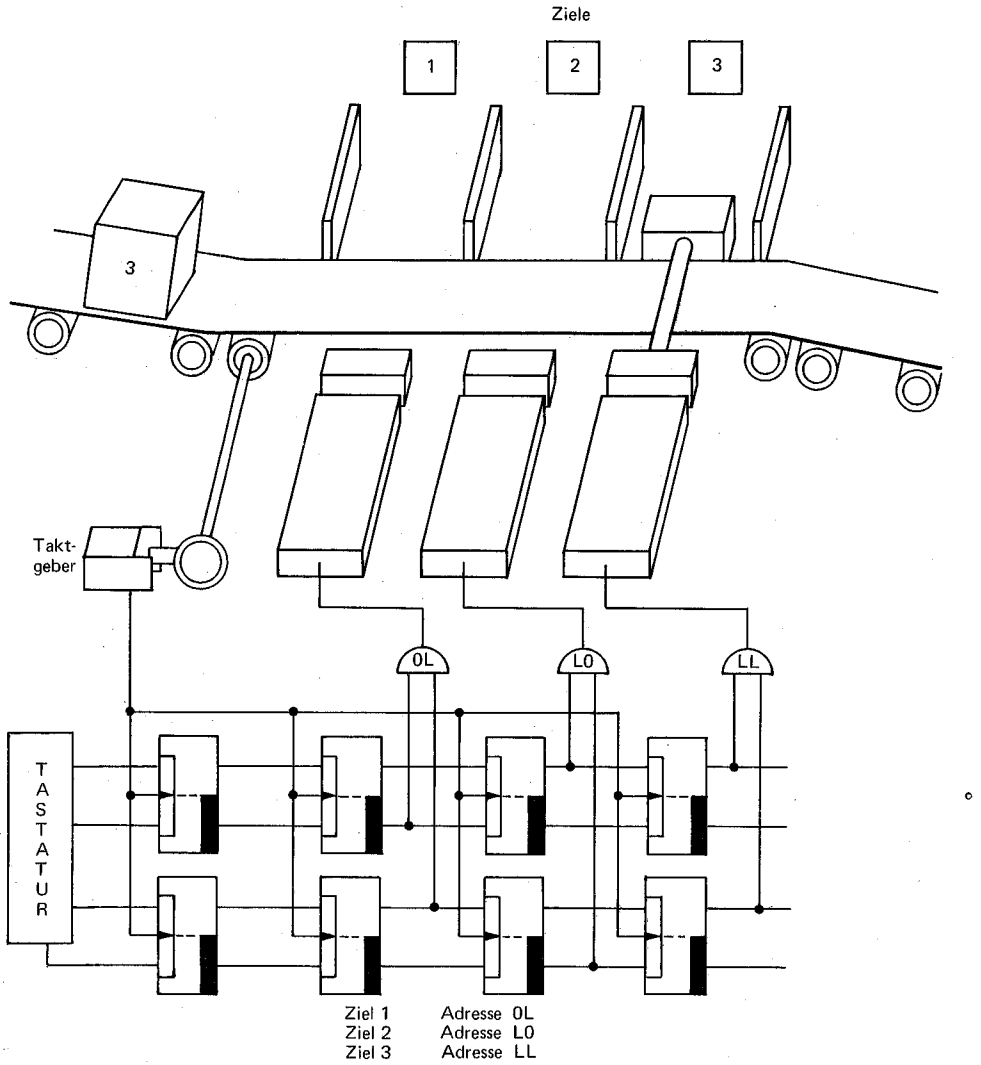


Bild 8/26a. Prinzipschaltung Paketsortieranlage.

Das Prinzip ist dabei immer ähnlich: Auf einem Band oder einer anderen Fördereinrichtung laufen irgendwelche Dinge, z. B. Postpakete, die, je nach Zielort, an bestimmten Stellen vom Band entnommen werden. Üblicherweise machen dies Menschen, die die Paketaufkleber bzw. leicht erkennbare Abkürzungen des Zielortes lesen und gegebenenfalls das Paket von Hand oder durch Betätigen eines elektrischen Kontaktes vom Band stoßen.

Unabhängig davon, ob es sich um Postpakete oder anderes Stückgut handelt, ist eines entscheidend: Jedes Paket trägt seine Zieladresse mit sich; an den Entnahme-Stellen wird jede Adresse gelesen und dann entschieden, ob das Paket auf dem Band bleibt oder nicht.

Soll dieser Sortiervorgang nun automatisiert werden, so entsteht das Problem, die Adresse maschinell zu lesen. Das ist jedoch technisch nicht möglich, einmal aufgrund der unterschiedlichen Paketabmessungen und zum zweiten, weil es gegenwärtig noch keine Leser gibt, die unterschiedliche Schriftarten mit hinreichender Zuverlässigkeit lesen können. Es muß also mindestens an einer Stelle ein „menschlicher Leser" sitzen und die gelesene Adresse, z. B. die Postleitzahl, über eine Tastatur maschinengerecht aufbereiten. Das geschieht natürlich sinnvollerweise am Bandanfang vor der ersten Abwurfstation. Aus der eingetippten Postleitzahl wird dann automatisch eine andere Zahl generiert, die die Adresse der für das betreffende Paket richtigen Abwurfstation ist.

Diese neue Adresse nun wird in die erste Spalte der Schieberegisteranordnung eingeschrieben, und zwar (spalten-) parallel mit einem ganz gewöhnlichen Taktimpuls. Zugleich werden dabei die bereits im Register befindlichen Adressen, die ja zu den Vorgängern des betrachteten Pakets gehören, um eine Spalte weitergeschoben.

Die realen Pakete wandern auf dem Band weiter, während ihre Abbilder, die Adressen, durch eine geeignete Synchronisation im Register Spalte um Spalte verschoben werden. Stimmt nun an einer Stelle die gespeicherte Adresse mit der fest vorgegebenen der Abwurfstation überein, so wird der lokale Abwurfmechanismus in Gang gesetzt und das Paket vom Band entfernt.

Der gesamte Vorgang soll nochmals anhand eines einfachen Beispiels mit lediglich drei Zielorten betrachtet werden. Bild 8/26a und b zeigen den prinzipiellen Aufbau einer solchen Anlage.

Dabei geht man also davon aus, daß dem Paket selbst die Adresse nicht mitgegeben werden kann (z. B. durch eine

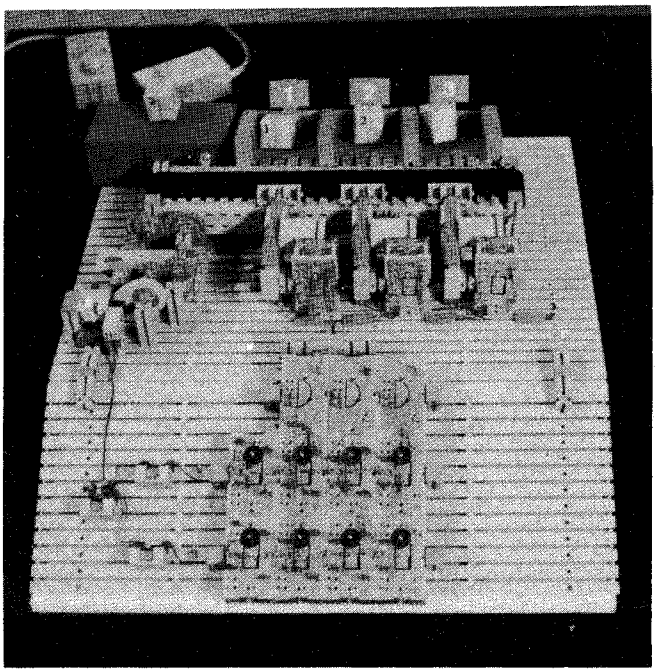


Bild 8/26b. Paketsortieranlage: WDR-Studiomodell mit Bauelementen von FISCHER-TECHNIK.

Markierung) und somit ein Schieberegister den Zielort verwalten muß. Diesen Zielorten soll die binäre Adresse 0L für 1, L0 für 2 und LL für 3 zugeordnet werden. Wie läuft nun der Sortiervorgang im einzelnen ab?

Bevor ein Paket auf die eigentliche Sortieranlage stößt, wird sein Zielort, z. B. die 3, was nach der getroffenen Zuordnung LL entspricht, an einem Zieleingabeplatz vorgemerkt, d. h. an die Vorbereitungseingänge der ersten FF des Schieberegisters gelegt. Synchron zur Förderbandbewegung werden Taktimpulse ausgelöst. Dabei setzt man bei dieser Anlage der Übersichtlichkeit wegen voraus, daß dem zeitlichen Abstand zwischen zwei Taktimpulsen die Fortbewegung des Bandes von einem Zielort zum anderen entspricht. Durch diesen Vorgang wird die Adresse des entsprechenden Paketes in das Schieberegister übernommen. Bei jedem folgenden Taktimpuls wird die entsprechende Adresse um ein Speicherwort weitergeschoben. Ordnet man nun jedem Zielort ein Speicherwort des Schieberegisters zu, so hat man den richtigen Zielort ge-

funden, wenn die aktuelle Adresse eines Speicherwortes des Schieberegisters mit der tatsächlichen Adresse des zugeordneten Zielortes übereinstimmt. Der Abwurfmechanismus, der das Paket am Zielort vom Förderband wirft, wird also beispielsweise bei dem Zielort 3, was binär LL entsprechen soll, dann betätigt, wenn in jedem Bit des 4. Speicherwortes jeweils ein L steht.

Kennzeichnet man mit *A* das 1. Bit eines jeweiligen Speicherwortes und mit *B* das 2. Bit, so muß also in dem besprochenen Fall an diesem Zielort für den Abwurf des Paketes die Bedingung
$Y = A \wedge B$
erfüllt sein. Dies läßt sich durch ein einfaches UND-Gatter realisieren. Auch für die anderen Zielorte kann man entsprechende Bedingungen angeben.

Übung 8/11 **Fallstudie**

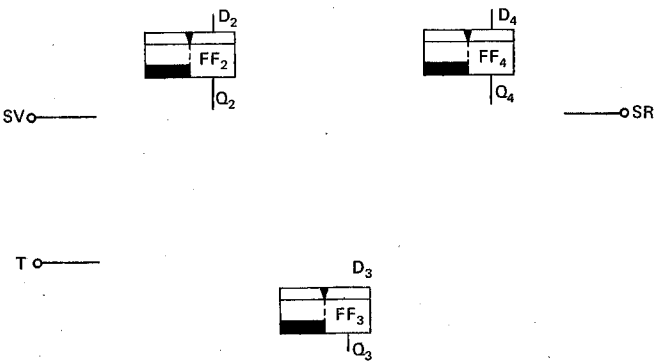
Beidseitiges Schieberegister.

In dieser Fallstudie wollen wir ein beidseitiges Schieberegister entwerfen. Derartige Register werden insbesondere in Computern benötigt, wenn man aus verschiedenen Bitserien Teile auswählen und zu einer neuen Serie zusammenstellen muß. Das läuft ähnlich ab wie das Rangieren zur Zusammenstellung eines Zuges. Das beidseitige Schieberegister entspricht dabei einem Gleisstück zwischen zwei Weichen. Unser beidseitiges Schieberegister soll über folgende Anschlüsse verfügen:

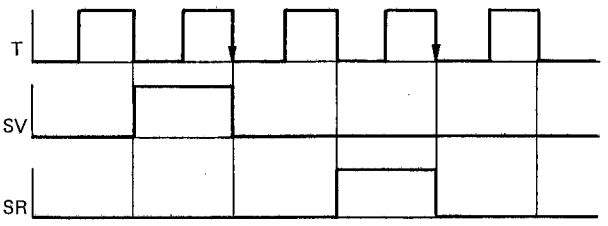
1. *EV*: Informationseingang beim Vorwärtsschieben,
2. *AV*: Informationsausgang beim Vorwärtsschieben,
3. *ER*: Informationseingang beim Rückwärtsschieben,
4. *AR*: Informationsausgang beim Rückwärtsschieben,
5. *SV*: Steuersignal vorwärts,
6. *SR*: Steuersignal rückwärts,
7. *T*: Synchroner Takteingang.

Die vertikale Wortlänge des Registers sei 1, die horizontale 5. Das Register soll aus D-Flip-Flops aufgebaut sein. Die Signale *SV* und *SR* sollen sich gegenseitig verriegeln, d. h. $SV = SR = L$ soll wirkungslos bleiben. Steht *SV* für sich allein während eines Taktes auf L, so soll um je eine Stelle bzw. von einem zum jeweils davor benachbarten Flip-Flop vorwärts geschoben werden. Steht *SR* für sich allein während eines Taktes auf L, so soll um je eine Stelle bzw. von einem Flip-Flop zum jeweils dahinter benachbarten rückwärts geschoben werden.

a) Wir betrachten im folgenden Bild ein Flip-Flop (FF_3) unseres Registers mit den davor (FF_2) und dahinter (FF_4) liegenden Nachbarn. Die Symbole sind lediglich um 90° gedreht und nicht in einer Linie gezeichnet. Vervollständigen Sie die Zeichnung so, daß bei $SV = L$ der Ausgang Q_2, bei $SR = L$ der Ausgang Q_4 auf D_3 geschaltet ist.



b) Das Flip-Flop FF_3 aus Übung 8/11 a) soll nur getaktet werden, wenn entweder *SV* oder *SR* den Wert L hat. Ergänzen Sie die Schaltzeichnung so, daß der Synchrontakt *T* ausschließlich in diesen Fällen zur Wirkung kommt (↓ ≙ wirksame *T*-Flanke).



c) Falls die D-Flip-Flops aus Haupt- und Nebenspeicher bestehen, darf sich die Information am D-Eingang erst ändern, wenn T wieder zu null geworden ist. Wie müssen also die Flanken der Steuersignale *SV* und *SR* gegenüber den Flanken von T liegen, damit diese Bedingung zweifelsfrei erfüllt ist?

d) Durch welchen Kunstgriff könnte man sicherstellen, daß die Flanken der Steuersignale *SV* und *SR* sicher nicht vor den Flanken von T kommen?

e) Entwerfen Sie eine gegenseitige Verriegelung für *SV* und *SR*.

f) Auf welche anderen Flip-Flop-Eingänge außer D_3 müssen Q_2 zum Rückwärtsschieben und Q_4 zum Vorwärtsschieben noch geschaltet werden?

g) Machen Sie eine Grobskizze für die Gesamtschaltung, in der die fünf Flip-Flops in einer Reihe liegen und die Steuerglieder vor den Eingängen fehlen. Kennzeichnen Sie die Richtung des Informationsflusses durch Pfeile. Machen Sie Ein- und Ausgänge sichtbar.

h) Zeichnen Sie die Gesamtschaltung.

i) Falls das beidseitige Schieberegister mit JK- statt mit D-Flip-Flops aufgebaut werden soll, müssen je Flip-Flop zwei Eingänge statt eines einzigen wahlweise angesteuert werden können. Man könnte also die Schaltungsteile vor den D-Eingängen aus der Lösung der Übung h) jeweils doppelt auslegen, und zwar vor J und vor K. Sehen Sie eine weniger aufwendige Möglichkeit der Realisierung?

j) In einem fünfstelligen Schieberegister stehe die Dualzahl 00LL0 ≙ 6. Was erhält man, wenn man um eine Stelle nach rechts bzw. vorwärts (nach links bzw. rückwärts) schiebt? Dabei sollen Randbits in der Schieberichtung herausgeschoben und am entgegengesetzten Registerrand jeweils eine 0 hereingenommen werden.

9. Die Zählweise elektronischer Zähler: 1+1=10

Elektronische Zähler, Bild 9/1, finden ihren Einsatz z. B. in den Bereichen der Automatisierungstechnik und in der Forschung. Gezählt werden u.a. Autos, Pillen, Papierblätter und vieles mehr. Immer dann, wenn eine große Anzahl von Einzelereignissen über einen längeren Zeitraum erfaßt werden muß oder wenn sehr schnelle Folgen von Einzelereignissen sicher zählend zu registrieren sind, geht es ohne die Hilfe technischer Zähleinrichtungen nicht. In solchen Fällen wird die Leistungsfähigkeit menschlicher Hilfskräfte überfordert oder aber ihr Einsatz wird zu teuer.

Technische Zähleinrichtungen sind im Grunde nicht neu. Es gibt sie bereits so lange, wie es notwendig war, Routinearbeiten durch Maschinen abzuwickeln. Wurden ursprünglich ausschließlich mechanische Konstruktionen gebaut, so sind es heute vorwiegend elektronische Baueinheiten. Ihre Verbreitung und ihre Leistungsfähigkeit wurden durch die Entwicklung moderner integrierter Digitalbausteine wesentlich begünstigt.

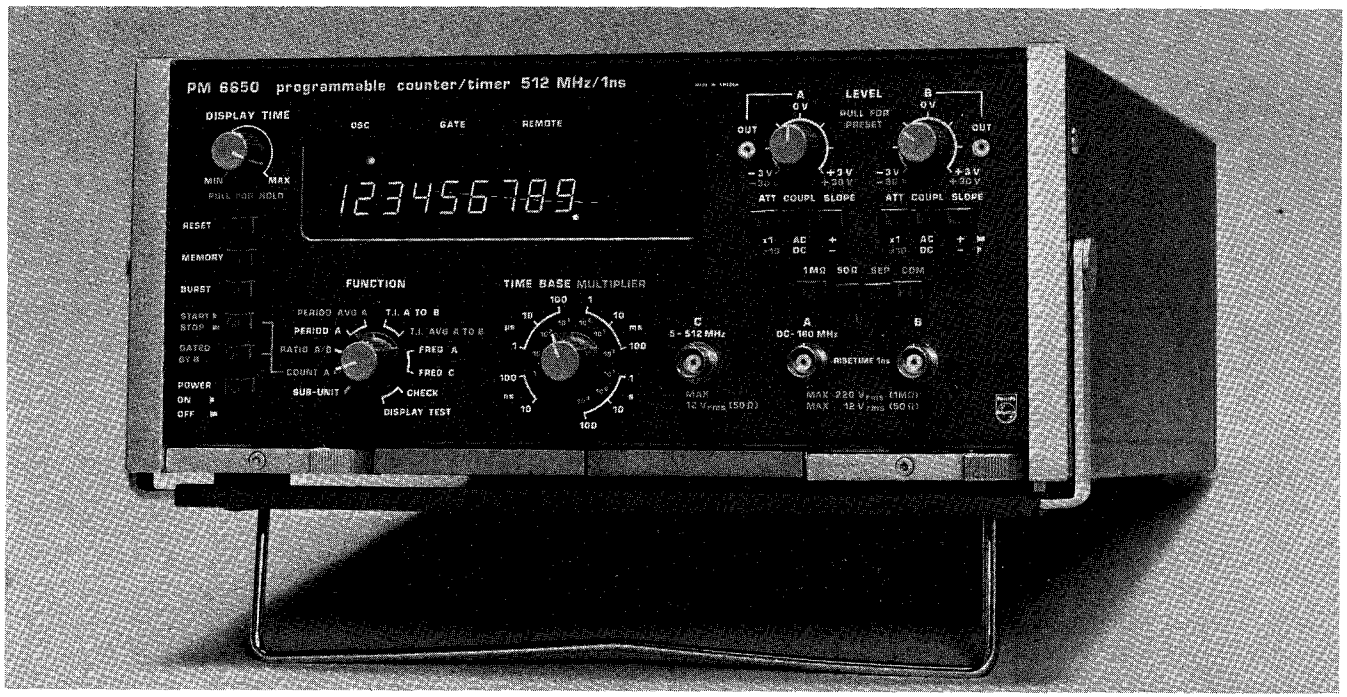


Bild 9/1. Elektronischer Universal-Zähler.

Allen elektronischen Zählern ist gemeinsam, daß sie in der Lage sind, eine an ihren Eingängen einlaufende Folge von Impulsen abzuzählen und das Zählergebnis zu speichern, Bild 9/2. Dabei ist es für den Zählvorgang und selbstverständlich auch für das Zählergebnis völlig unerheblich, wie der Impulsgeber selbst technisch aufgebaut ist, wenn nur die abgegebenen Impulse der von der Zählschaltung her benötigten Impulsart entsprechen oder ihr bei Bedarf angepaßt werden. An das Verhältnis von Impulszeit zu Impulspause innerhalb der zu zählenden Impulsfolge werden keine Bedingungen gestellt, Bild 9/3. So können die Impulse periodisch oder aber auch völlig unsystematisch in den Zählereingang einlaufen.

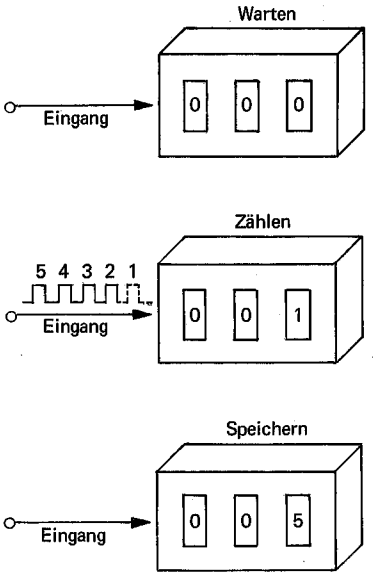


Bild 9/2. Prinzip der Zählimpuls-Erfassung.

Da moderne elektronische Zähler entsprechend ihren physikalischen Eigenschaften außerordentlich schnell arbeiten – 10^6 Impulse/s sind kein Problem – muß das Prellen von Kontakten völlig vermieden werden. Hier bieten sich gegebenenfalls prellfreie Taster zur Abhilfe an, Bild 9/4 (vgl. dazu auch Kapitel 6).

In der Regel werden auch an die Flankensteilheit (Kapitel 6) der zu zählenden Impulse besondere Anforderungen gestellt. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Zählschaltung aus dynamisch angesteuerten Flipflops aufgebaut ist.

Über die Möglichkeiten der technischen Anwendung von elektronischen Zählern berichtet das nachfolgende Kapitel 10 ausführlicher. Im hier vorliegenden Abschnitt soll der grundsätzliche Aufbau und die Arbeitsweise elektronischer Zähler dargestellt werden.

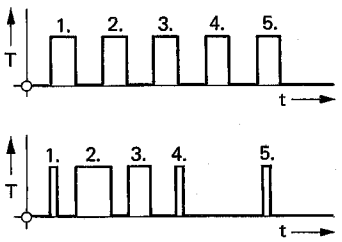


Bild 9/3. Zählimpulsfolgen.

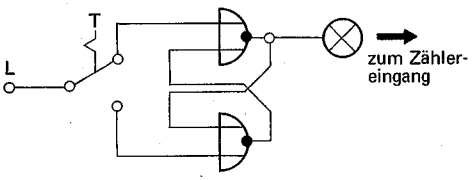


Bild 9/4. Prellfreier Impulsgeber aus NOR-Gliedern.

Tabelle 9/1. Prinzip der Stellenübertragsbildung.
links: Dezimalzähler, rechts: Dualzähler

Prinzip des Stellenübertrags (Das Zeichen ◄- weist auf Stellenüberträge hin)				
Dezimalzähler			Dualzähler	
		0		0 0 0 0
plus		1	plus	L
		1		0 0 0 L
plus		1	plus Übertrag ◄	L
		2		L 0
plus		1	plus	L
		3		0 0 L L
plus		1	plus Übertrag ◄	L
		4		0 L 0 0
plus		1	plus	L
		5		0 L 0 L
plus		1	plus Übertrag ◄	L
		6		0 L L 0
plus		1	plus	L
		7		0 L L L
plus		1	plus Übertrag ◄	L
		8		L 0 0 0
plus		1	plus	L
		9		L 0 0 L
plus	Übertrag ◄	1	plus ◄	L
		10		L 0 L 0
plus		1	plus	L
		11		L 0 L L
plus		1	plus ◄	L
		12		L L 0 0
plus		1	plus	L
		13		L L 0 L
plus		1	plus ◄	L
		14		L L L 0
plus		1	plus	L
		15		L L L L
plus		1	plus ◄	L
		16	L	0 0 0 0

Tabelle 9/2. Addition zweier einstelliger Dualzahlen.

0 + 0 = 0 0	Stellenergebnis 0,	Übertrag 0
0 + L = 0 L	Stellenergebnis L,	Übertrag 0
L + 0 = 0 L	Stellenergebnis L,	Übertrag 0
L + L = L 0	Stellenergebnis 0,	Übertrag L

Grundprobleme des Zählens

Elektronische Zähler zählen Ereignisse bzw. Vorgänge, die vorher in Impulse umgewandelt worden sind. Bei diesem Zählen von Impulsen werden fortlaufend Eins-Additionen vorgenommen. Jeder weitere Einzelimpuls wird zu einer im Zähler bereits gebildeten Summe von vorher verarbeiteten Impulsen hinzugezählt. Die neue Impulssumme wird gespeichert und in der Regel angezeigt.

Bei einem Dezimalzähler enthält jede einzelne Zählstelle eine von insgesamt zehn möglichen Ziffern. Wird dieser Zeichenvorrat (0 bis 9) einer Stelle im Laufe des Abzählens einer Impulsfolge erschöpft, so erfolgt, durch den zehnten Zählimpuls ausgelöst, s. Tabelle 9/1 (links):
- ein Rückstellen dieser Dezimalstelle auf die Ziffer 0
- und gleichzeitig ein Übertrag auf die nächste Stelle, d.h. der dortige Zählerstand wird um eins fortgezählt.

Diese Zählweise im „Dezimalen Zahlensystem" ist uns geläufig, weil eben dieses Zahlensystem allgemein gebräuchlich ist. Zählen kann man jedoch prinzipiell auch in anderen Zahlensystemen, nach jedem vereinbarten Code (s. Kapitel 1). Von der Theorie her ergeben sich somit verschiedene Ansätze zur Realisierung elektronischer Zähler.

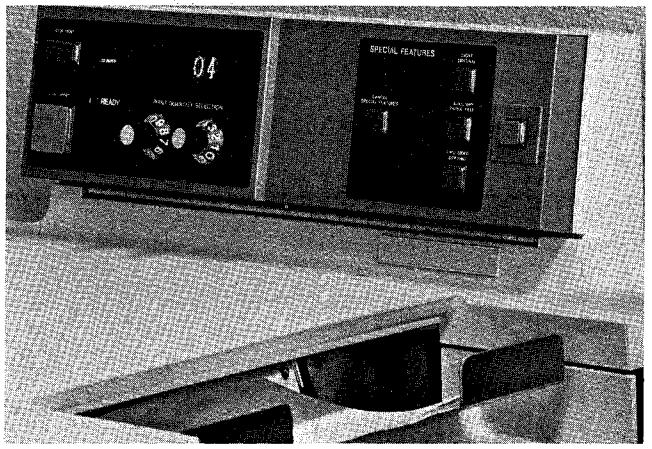


Bild 9/5. Papierbogen-Zähleinrichtung eines Copier-Automaten.

Von allen theoretisch möglichen Zählerarten, z. B. Bild 9/6, können mit den Bausteinen der Digitalelektronik die Dualzähler besonders einfach aufgebaut werden.

Der Dualzähler unterliegt den Gesetzmäßigkeiten des dualen Zahlensystems. Diese Gesetzmäßigkeiten bestimmen seine Zählweise in der Art, wie sie in Tabelle 9/1 (rechts) wiedergegeben wird.

Nicht anders als beim Dezimalzähler, so wird auch beim Dualzähler immer dann, wenn der Zeichenvorrat einer Stelle erschöpft ist, ein Übertrag auf die nächsthöhere Stelle gebildet, Tabelle 9/1 und 9/2.

Übung 9/1 **?** **Verständnisübung**

Zählen im dezimalen Zahlensystem.

a) Ein Zähler besteht aus einzelnen Zählstellen. Das sind technische Bauelemente, die eine bestimmte Anzahl verschiedener Zustände haben können. Wieviel verschiedene Zustände muß eine Zählstelle für einen dezimalen Zähler haben?

b) Welcher Zusammenhang (Anzahl, Reihenfolge) besteht zwischen den Zuständen einer Zählstelle und dem Ziffernvorrat des zugrundeliegenden Zahlensystems?

c) Wenn eine Zählstelle den Zustand erreicht hat, der zur letzten Ziffer gehört, welcher Zustand folgt dann nach?

d) Wie stehen die einzelnen Zählstellen eines Kilometer-Zählers im PKW unmittelbar bevor er 47 000 anzeigt?

e) In welchem Zustand befinden sich die drei letzten Zählstellen unmittelbar bevor die viertletzte einen Zustand-Vorwärtsschritt macht? (Die Antwort so formulieren, daß sie für ein beliebiges Zahlensystem paßt.)

f) Ergänzen Sie folgende Aussage: Wenn bei einem dezimalen Zähler unmittelbar vor einem Zählschritt die letzte Zählstelle, UND die ..... Zählstelle, UND ..... Zählstelle auf dem Zustand ..... stehen, so macht die viertletzte Zählstelle einen .....

g) Ergänzen Sie folgende Aussage: Wenn bei einem dezimalen Zähler eine Zählstelle vom Zustand ..... zum ..... übergeht, so macht die nächsthöhere Zählstelle .....

h) Erläutern Sie aufgrund der Regel von Übung g), wie der Übergang von 46 999 auf 47 000 abläuft.

i) In 46 999 hat jede der drei Neunen eine andere Bedeutung. Erklären Sie das.

Einteilung elektronischer Zähler

Für die Einteilung der Zähler gibt es verschiedene Gesichtspunkte, Bild 9/6. In der Regel werden bei der Benennung eines Zählertyps mehrere Kriterien gleichzeitig herangezogen, wie die folgenden Benennungsbeispiele zeigen:

a) asynchron-vorwärtszählender Dualzähler*),
b) synchron-rückwärtszählender BCD-Zähler usw.

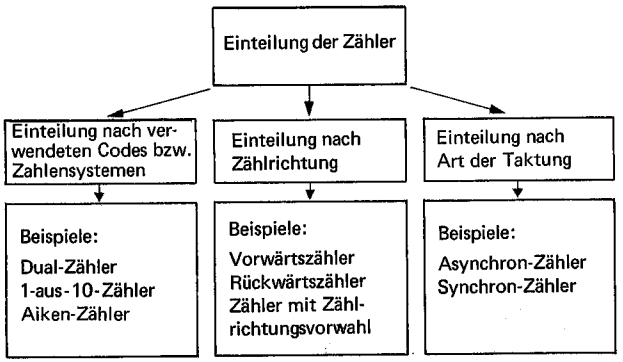


Bild 9/6. Einteilung der Zählerarten.

Das Zählflipflop – Grundelement elektronischer Zähler

Da alle elektronischen Zähler Impulse aufzunehmen und nach einem vorgegebenen Zahlensystem zu verarbeiten haben, stehen als technische Grundprobleme für unsere elektronischen Zähler
- die Impulserfassung,
- die Impulsspeicherung und
- die Übertragsbildung von einer Stelle auf die nächsthöhere an.

*) Vgl. dazu S. 223 und 245.

Diese Probleme lassen sich durch Zähl-Flip-Flop-Schaltungen beherrschen, deren Basisbauelement solche Zähl-Flip-Flops sind, wie in Kapitel 6 dargestellt.

Bild 9/7 gibt noch einmal ein solches Zählflipflop wieder. Der Arbeitsausgang Q eines Flipflops kann die binären Zustände O und L annehmen. Da innerhalb einer Dualstelle ebenfalls nur zwei verschiedene Zeichen auftreten können, ist es möglich, das digitale Bauelement „Flipflop" zur Repräsentation einer Dualstelle einzusetzen.

Für den Aufbau elektronischer Zähler können grundsätzlich verschiedene Zählflipflop-Ausführungen herangezogen werden, Bild 9/8.

Bei dem Flipfloptyp I in Bild 9/8 wechseln die Speicherausgänge jeweils dann ihre Zustände, wenn am Eingang T des Flipflops ein OL-Signalwechsel erfolgt. Flipfloptyp II dagegen wird mit LO-Signalwechseln umgesteuert.

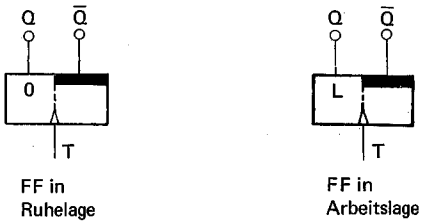


Bild 9/7. Das Flip-Flop als Zählelement.

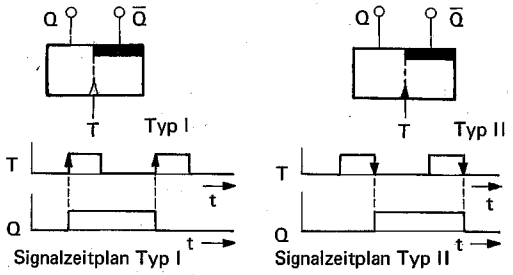


Bild 9/8. Bei den Zähl-Flip-Flops unterscheidet man OL-getriggerte und LO-getriggerte Typen.

Bei mehrstelligen Dualzählern wird jeder einzelnen Dualstelle ein Zählflipflop zugeordnet. Diese Zuordnung hat zur Konsequenz, daß jedem einzelnen Arbeitsausgang ein bestimmter individueller Zahlenwert zugeordnet werden muß. Ist z.B. Flipflop FF8 auf Q = L gesetzt, so repräsentiert dieses Flipflop den Zahlenwert 8. Der Zählerinhalt selbst ergibt sich aus der Summe der Stellenwerte aller gesetzten Zählflipflops, Tabelle 9/3.

Beispiel:

Für den 11. Impuls ergibt sich: 8 + 0 + 2 + 1 = 11.

Halten wir fest:

Obwohl alle Flipflops eines Dualzählers elektronisch gleichartig und gleichwertig sind, entspricht jedoch ein L-Signal am Arbeitsausgang Q_1 des Flipflops FF1 dem Zahlenwert $2^0 = 1$, ein L-Signal am Arbeitsausgang Q_4 des Flipflops FF4 dagegen dem Zahlenwert $2^2 = 4$, usw.

Tabelle 9/3*). Stellenwertigkeiten der Zähl-Flip-Flops.

2. Stelle	1. Stelle	FF8	FF4	FF2	FF1
		Q_8	Q_4	Q_2	Q_1
Zehner	Einer				
	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	L
	2	0	0	L	0
	3	0	0	L	L
	4	0	L	0	0
	5	0	L	0	L
	6	0	L	L	0
	7	0	L	L	L
	8	L	0	0	0
	9	L	0	0	L
1	0	L	0	L	0
1	1	L	0	L	L
		(8) +	(0) +	(2) +	(1)
1	2	L	L	0	0
1	3	L	L	0	L
1	4	L	L	L	0
1	5	L	L	L	L
		10^1	10^0	2^3	2^2	2^1	2^0

*) In dieser Tabelle beziehen sich die Flip-Flop-Benennungen FF1, FF2, FF4, FF8 .... auf das duale Zahlensystem. Die Zahlen 1, 2, 4, 8 .... weisen auf die Stellenwertigkeit hin. Arbeitet ein Zähler nach einem anderen Code, so können andere Benennungen nötig werden.

Übung 9/2 **Verständnisübung**

Zählen im dualen Zahlensystem.

a) Wieviel verschiedene Zustände muß ein Bauelement haben, das als Zählstelle in einem dualen Zähler benutzt werden soll? (Vgl. Übung 9/1 a) und b).)

b) Wenn eine duale Zählstelle den zur letzten Ziffer, nämlich L, gehörigen Zustand erreicht hat, welcher Zustand folgt dann nach? (Vgl. Übung 9/1 c).)

c) Wenn eine duale Zählstelle den Zustand 0 hat und von da an fünfmal zum Vorwärtszählen angestoßen wird, welche Zustände nimmt sie dann der Reihe nach an?

d) Wie stehen die einzelnen Stellen eines vierstelligen dualen Zählers unmittelbar bevor der Zustand L000 eintritt (vgl. Übung 9/1 d) und e) sowie Tabelle 9/1).

e) Stellen Sie in Tabelle 9/1 fest, welche dezimale Darstellung für 0LLL und L000 angegeben ist?

f) Ergänzen Sie folgende Aussage: Wenn bei einem dualen Zähler unmittelbar vor einem Zählschritt die letzte Zählstelle, UND .... Zählstelle, UND ..... Zählstelle auf dem Zustand ..... stehen, so macht die viertletzte Zählstelle einen ..... (vgl. Übung 9/1 f)).

g) Ergänzen Sie folgende Aussage: Wenn bei einem dualen Zähler eine Zählstelle vom Zustand ..... zum Zustand ..... übergeht, so macht die nächsthöhere Zählstelle einen ..... (vgl. Übung 9/1 g)).

h) Erläutern Sie auf Grund der Regel von Übung 9/2 g), wie der Übergang von 0LLL auf L000 abläuft (vgl. Übung 9/1 h)).

i) In 0LLL hat jede der drei L eine andere Bedeutung. Erklären Sie das (vgl. Übung 9/1 i)).

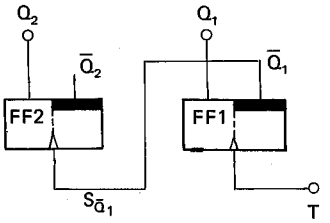


Bild 9/9. Zweistelliger Dualzähler, asynchron-vorwärtszählend, mit 0L-Signalflanken gesteuert.

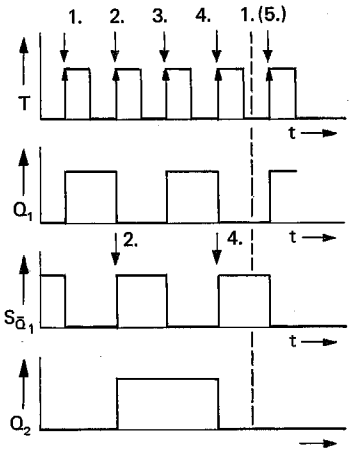


Bild 9/10. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/9.

Aufbau und Arbeitsweise eines zweistelligen Dualzählers, asynchron-vorwärtszählend

Bild 9/9 gibt den Aufbau eines zweistelligen Dualzählers wieder. Zu beachten ist, daß
- die verwendeten Zählflipflops mit der O→L-Flanke gesteuert werden,
- der dynamische Eingang des Flipflops FF2 mit dem Ruheausgang $\bar{Q}_1$ des Flipflops FF1 verbunden ist.

Verfolgen Sie nun die Arbeitsweise des Zählers am Signal-Zeit-Plan, Bild 9/10.

Im Grundzustand steht der Zähler auf Null. Die Ausgänge Q_1 und Q_2 führen O-Signal, die Ausgänge $\bar{Q}_1$ und $\bar{Q}_2$ dagegen L-Signal.

Das L-Signal auf der Leitung $S_{\bar{Q}_1}$ richtet am Eingang des FF2 nichts aus, da dieser ausschließlich auf einen O→L-Wechsel reagiert.

Beim Einlaufen des ersten Zähltaktes wird FF1 mit dem Signalwechsel von O→L gesetzt. Über die Übertragsleitung $S_{\bar{Q}_1}$ läuft ein Signalwechsel L→O auf den Eingang des FF2. Dieser Signalwechsel wird nicht verarbeitet. Das Flipflop FF2 behält seinen Zustand bei. Die Quersumme der Wertigkeiten der Flipflop-Arbeitsausgänge ergibt 0 + 1 = 1.

Beim Einlaufen des zweiten Zählimpulses wird FF1 zurückgestellt. Über die Übertragsleitung $S\bar{o}_1$ läuft ein Signalwechsel von O→L zum dynamischen Eingang des FF2. FF2 wird hierauf gesetzt. Die Quersumme der Wertigkeiten der Flipflop-Arbeitsausgänge ergibt 2 + o = 2.

Der dritte Impuls setzt FF1 erneut, während FF2 in seiner Arbeitslage verbleibt. Die Quersumme der Wertigkeiten der FF-Arbeitsausgänge ergibt 2 + 1 = 3. Die FF-Arbeitsausgänge repräsentieren somit die Summe der gezählten Impulse.

Mit dem Eintreffen des vierten Impulses wird FF1 wieder in Ruhelage gezwungen. Zeitlich versetzt – asynchron – wird daraufhin auch FF2 über die Koppelleitung $S\bar{o}_1$ durch den auflaufenden OL-Signalwechsel zurückgestellt.

Nach 4 Zähltakten sind beide Flipflops wieder gelöscht und befinden sich in Ausgangsposition. Ein Übertrag von FF2 auf ein weiteres Flipflop, nun mit der Wertigkeit 4, würde es ermöglichen, auch den vierten, fünften, sechsten und siebten Zählimpuls aufzunehmen und zu speichern.

Über die Zählkapazität von Dualzählern

Die Zählkapazität eines Dualzählers ist dann ausgeschöpft, wenn sich alle Zählflipflops in Arbeitslage befinden. Mit jedem zusätzlich hinzugefügten Zählflipflop wird die Kapazität des Zählers erweitert. Diese Kapazitätserweiterung unterliegt bei den hier betrachteten Dualzählern den Gesetzmäßigkeiten des dualen Zahlensystems, Tabelle 9/4.

Tabelle 9/4. Zählkapazität von Dualzählern.

Anzahl der Zähl-Flip-Flops	Wertigkeit der Arbeitsausgänge	Zählkapazität (max. aufgenommene Zählimpulse)	Anzahl der möglichen Zählzustände
1	1	1	2
2	1, 2	3	4
3	1, 2, 4	7	8
4	1, 2, 4, 8	15	16
5	1, 2, 4, 8, 16	31	32
6	1, 2, 4, 8, 16, 32	63	64
7	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64	127	128
8	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128	255	256

Zählersteuerung durch L→O-Signalwechsel

Bild 9/11 zeigt den Aufbau eines zweistelligen, asynchron-vorwärtszählenden Dualzählers, dessen Zählflipflops mit L→O-Signalwechsel gesteuert werden.

Verfolgen Sie die internen Vorgänge dieses Zählers am zugehörigen Signal-Zeit-Plan, Bild 9/12.

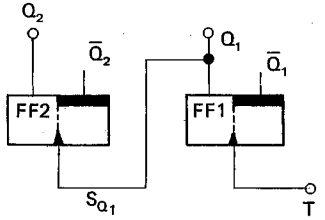


Bild 9/11. Zweistelliger Dualzähler, asynchron-vorwärtszählend, mit LO-Signalflanken gesteuert.

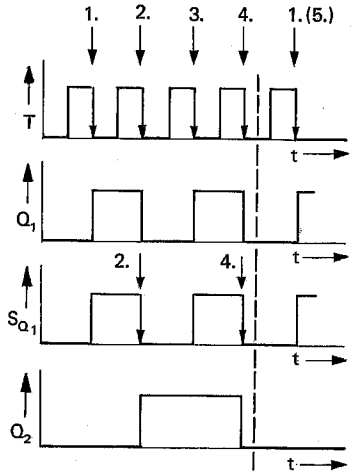


Bild 9/12. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/11.

Übung 9/3 ? **Verständnisübung**

Wieviel Flip-Flops werden benötigt, um einen Dualzähler aufzubauen, der bis zu 99 Zählimpulsen erfaßt (vgl. Tabelle 9/4)?

Übung 9/4 **Verständnisübung**

Asynchrone duale Vorwärtszählung.

a) Warum kann bei einer dualen Zählstelle ein Vorwärts-Zählschritt eindeutig als „Zustandsänderung" gekennzeichnet werden? Warum ist das bei einer dezimalen Zählstelle nicht möglich?

b) Eine duale Zählstelle sei mittels eines Zähl-Flip-Flops mit den Ausgängen Q – „eigentlicher" Ausgang – und $\bar{Q}$ – „negierter" Ausgang – realisiert. Welche Signalwechsel ergeben sich an diesen beiden Ausgängen, wenn die Zählstelle von L auf 0 weiterzählt?

c) Wir betrachten zwei benachbarte duale Zählstellen in einem dualen Zähler, die mittels Zähl-Flip-Flops realisiert sind. Der eigentliche Ausgang mit dem niedrigeren Stellenwert sei Q_1, der mit dem höheren Q_2. Je nach Art des Signalwechsels, der bei den benutzten Zähl-Flip-Flops die Zustandsänderung auslöst, wird entweder Q_1 oder $\bar{Q}_1$ auf den Takteingang des höherwertigen Zähl-Flip-Flops geschaltet – vgl. Bild 9/9 und 9/13. Begründen Sie das.

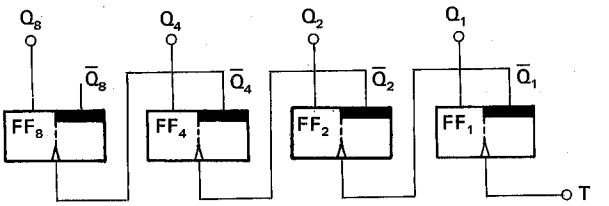


Bild 9/13. Vierstelliger Dualzähler, asynchron-vorwärtszählend, mit 0L-Signalflanken gesteuert.

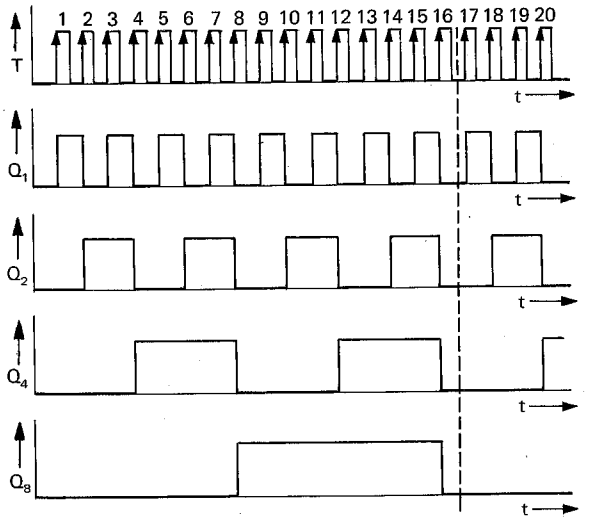


Bild 9/14. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/13.

Aufbau und Arbeitsweise eines vierstelligen, asynchron-vorwärtszählenden Dualzählers

In Bild 9/13 wird ein vierstelliger Dualzähler, asynchron-vorwärtszählend, vorgestellt.

Seine Arbeitsweise entspricht im Prinzip der des zweistelligen Dualzählers, nur daß seine Zählkapazität nunmehr bis

$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 15$ reicht.

Verfolgen Sie bitte die Arbeitsweise des Zählers am vorliegenden Signal-Zeit-Plan, Bild 9/14.

Man beachte, daß die Ansteuerung der Zählflipflops FF2, FF4 und FF8 jeweils durch einen entsprechenden Signalwechsel am Ruheausgang $\bar{Q}$ des vorhergehenden Flip-Flops erfolgt. Alle Flip-Flops werden zeitlich nacheinander – d. h. asynchron – angesteuert.

Übung 9/5 **?** **Verständnisübung**

Nachvollzug eines asynchronen Zählvorgangs.

Bild 9/15 gibt den Aufbau eines vierstelligen asynchron-vorwärtszählenden Dualzählers wieder, dessen Zähl-Flip-Flops durch L-0-Flanken gesteuert werden. Vervollständigen Sie den zugehörigen Signal-Zeit-Plan in Bild 9/16 für die Ausgänge Q_1, Q_2, Q_4 und Q_8.

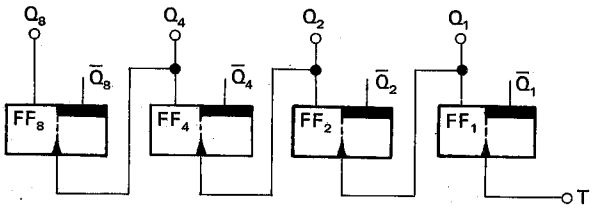


Bild 9/15. Vierstelliger Dualzähler, asynchron-vorwärtszählend, mit L0-Signalflanken gesteuert.

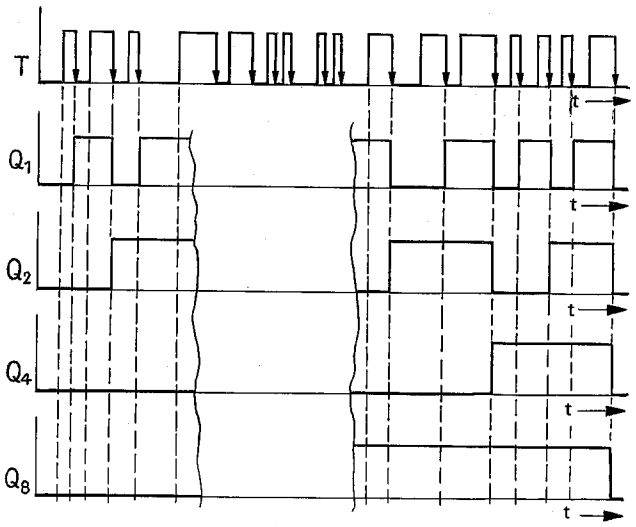


Bild 9/16. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/15.

Grundprinzip des rückwärtszählenden Dualzählers

In bestimmten Fällen der Zählpraxis ist es erforderlich, daß eine Impulsfolge von einem vorgegebenen Zählerinhalt abgezählt werden muß. Wie dies beim Dezimalzähler nach dem dezimalen Zahlensystem geschieht, ist bekannt und soll auch hier nicht diskutiert werden.

Wie verläuft nun aber die Zählfolge eines rückwärtszählenden Dualzählers? Tabelle 9/5 gibt darüber Auskunft.

In Tabelle 9/5 wurde angenommen, daß ein vierstelliger Dualzähler – in seiner Zählkapazität ausgeschöpft – den Wert 15 erreicht hat.

Nun soll eine Impulsfolge von 15 Impulsen abgezogen werden. Vom Zählergrundzustand LLLL (15) ausgehend, führt der Abzug des ersten Impulses zum Zählergebnis LLLO (14) usw. Mit jedem Impuls wird der Zählerinhalt um Eins vermindert. Um diese Zählfolge erreichen zu können, müssen die zählerinternen Verbindungsleitungen anders als beim Vorwärtszähler geschaltet werden. Wie dies geschieht, ist im folgenden Abschnitt dargelegt.

Tabelle 9/5. Zählfolge eines rückwärtszählenden Dualzählers.

FF8 Q_8	FF4 Q_4	FF2 Q_2	FF1 Q_1	dezimal
L	L	L	L	15
L	L	L	0	14
L	L	0	L	13
L	L	0	0	12
L	0	L	L	11
L	0	L	0	10
L	0	0	L	9
L	0	0	0	8
0	L	L	L	7
0	L	L	0	6
0	L	0	L	5
0	L	0	0	4
0	0	L	L	3
0	0	L	0	2
0	0	0	L	1
0	0	0	0	0

Aufbau und Arbeitsweise eines zweistelligen, asynchron-rückwärtszählenden Dualzählers

Bild 9/17 gibt den Aufbau eines zweistelligen, asynchron-rückwärtszählenden Dualzählers wieder. Der Ausgang Q_1 des Flipflops FF1 wird mit dem Eingang T_2 des Flip-Flops FF2 verbunden. Die Zählflipflops werden mit O→L-Taktflanken gesteuert. Verfolgen Sie bitte die Arbeitsweise des Zählers am Signal-Zeit-Plan, Bild 9/18.

Grundzustand: Beide Flip-Flops in Arbeitsstellung, Zählerinhalt: 2 + 1 = 3

1. Zählimpuls: FF1 wechselt auf Ruhelage, FF2 bleibt in Arbeitslage, Zählerinhalt: 2

2. Zählimpuls: FF1 wechselt in Arbeitslage, danach wechselt FF2 in Ruhelage, Zählerinhalt: 1

3. Zählimpuls: FF1 wechselt in Ruhelage, FF2 bleibt in Ruhelage, Zählerinhalt: 0

Besondere Beachtung verdient der nun folgende vierte Impuls.

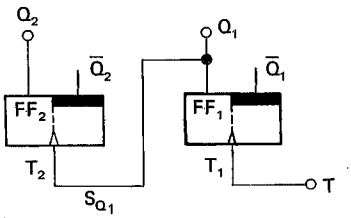


Bild 9/17. Zweistelliger Dualzähler, asynchron-rückwärtszählend, mit 0L-Signalflanken gesteuert.

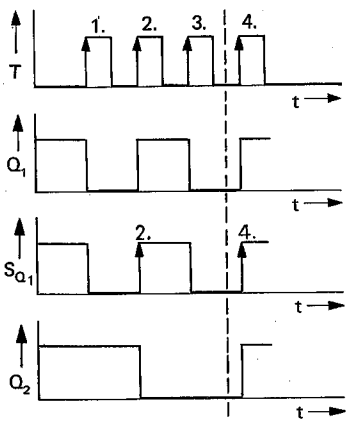


Bild 9/18. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/17, Grundzustand LL (3). $S_{\bar{Q}_1} = Q_1$.

4. Zählimpuls: FF1 wechselt in Arbeitslage, danach wechselt FF2 ebenfalls in Arbeitslage, Zählerinhalt: 3

Der Zähler mit dem Inhalt „Null" wird mit dem vierten Zählimpuls wieder vollständig „aufgefüllt". Dies ist aus der Organisation des Zählers heraus zu erklären. Darüberhinaus findet dieser Vorgang seine Begründung auch im Zahlensystem, wenn man sich jeweils zu den im Zähler vorhandenen Flip-Flops noch ein weiteres für die nächsthöhere Dualstelle hinzudenkt.

Beachtet seien in diesem Zusammenhang auch die eingerahmten Felder in Tabelle 9/5.

Der schaltungstechnische Aufbau eines weiteren zweistelligen asynchron-rückwärtszählenden Dualzählers ist in Bild 9/19 angegeben. Benutzt sind Zähl-Flip-Flops, die mit L-O-Taktflanken gesteuert werden. Bild 9/20 zeigt den zugehörigen Signal-Zeit-Plan, ausgehend vom Grundzustand Q_1 = L, Q_2 = L. Bild 9/21 zeigt einen vierstelligen

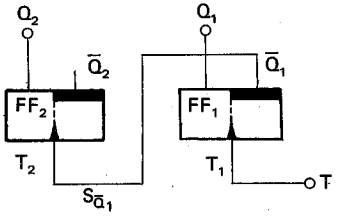


Bild 9/19. Zweistelliger Dualzähler, asynchron-rückwärtszählend, mit L0-Signalflanken gesteuert.

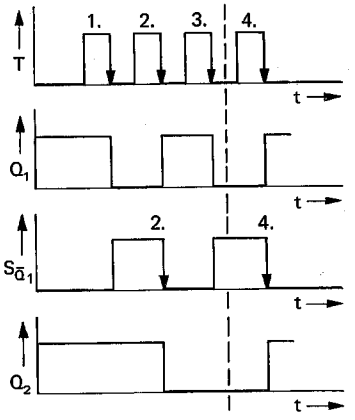


Bild 9/20. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/19, Grundzustand LL (3). $S_{\bar{Q}_1} = \bar{Q}_1$.

Dualzähler, der mit 0-L-Signalflanken gesteuert wird. Studieren Sie den zugehörigen Signal-Zeit-Plan, Bild 9/22, gründlich, bevor Sie sich mit Übung 9/6 befassen!

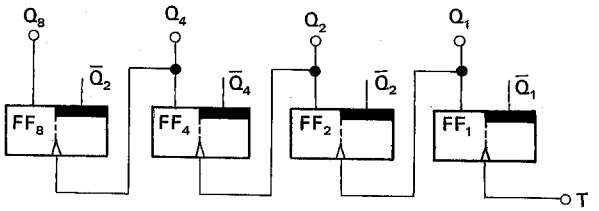


Bild 9/21. Vierstelliger Dualzähler, asynchron-rückwärtszählend, mit 0L-Signalflanken gesteuert.

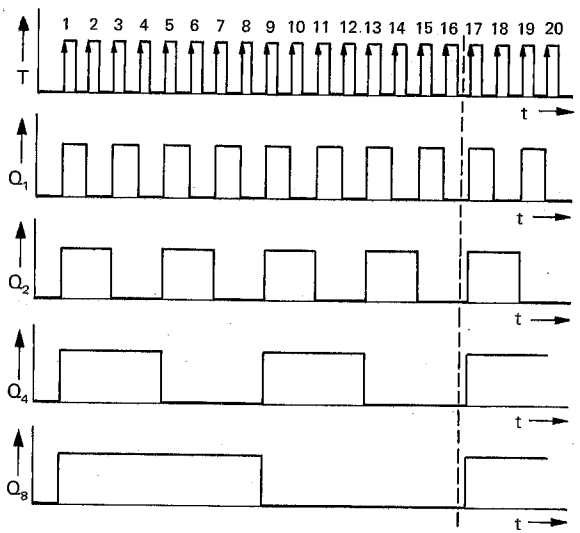


Bild 9/22. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/21, Grundzustand LLLL (15).

Übung 9/6 **Verständnisübung**

Bild 9/23 gibt den Aufbau eines vierstelligen asynchron-rückwärtszählenden Dualzählers wieder. Die benutzten Zähl-Flip-Flops werden mit L-0-Signalwechsel gesteuert. Vervollständigen Sie den Signal-Zeit-Plan in Bild 9/24 für die Ausgänge Q_1, Q_2, Q_4 und Q_8.

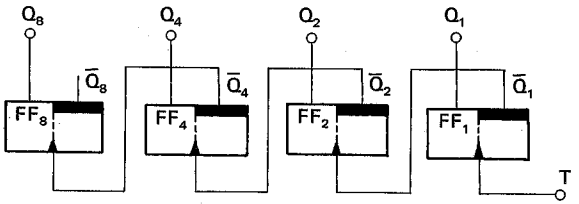


Bild 9/23. Vierstelliger Dualzähler, asynchron-rückwärtszählend, mit L0-Signalflanken gesteuert.

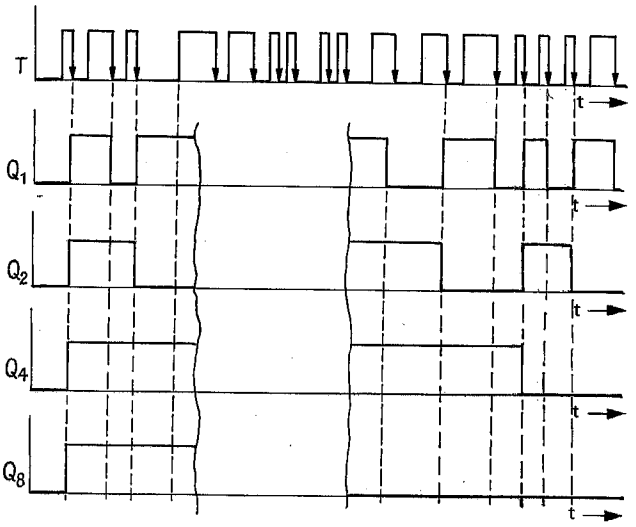


Bild 9/24. Signal-Zeit-Plan zum Dualzähler nach Bild 9/23.

Übung 9/7 **Verständnisübung**

Asynchrone duale Rückwärtszählung (vgl. Tabelle 9/5, Bild 9/19 bis 9/22).

a) Was geschieht in einer dualen Zählstelle – bzw. in einem sie repräsentierenden Zähl-Flip-Flop –, wenn sie an einem Rückwärtszählschritt beteiligt ist?

b) Wir betrachten zwei benachbarte Zähl-Flip-Flops in einem dualen Zähler. Der eigentliche Ausgang des Flip-Flops mit dem niedrigeren Stellenwert sei Q_1, der mit dem höheren Stellenwert Q_2. Bei welcher Zustandsänderung von Q_1 – infolge eines Rückwärtszählschritts – muß auch Q_2 seinen Zustand ändern (vgl. Tabelle 9/5)?

c) Erläutern Sie den Übergang von L000 ≙ 8 nach 0LLL ≙ 7 in Tabelle 9/5 aufgrund der in Übung 9/7 b) angegebenen Regel.

d) Man kann bei einem asynchronen dualen Rückwärts-Zähler sowohl Zähl-Flip-Flops verwenden, die mit 0-L-Signalwechsel ausgelöst werden, als auch solche, die auf L-0-Signalwechsel reagieren. Welcher Ausgang einer Zählstelle – Q_1 oder $\overline{Q}_1$ – wird je nachdem auf den Takteingang des nächst höherwertigen Zähl-Flip-Flops mit dem eigentlichen Ausgang Q_2 geschaltet? Begründung (vgl. Bild 9/19 und 9/21)?

Übung 9/8 **Verständnisübung**

Asynchrone Steuerung dualer Zähler.

Wir betrachten zwei benachbarte Zähl-Flip-Flops, einerseits in einem dualen Vorwärts-Zähler (vgl. Übung 9/4 c)), andererseits in einem dualen Rückwärts-Zähler (vgl. Übung 9/7 d)). Je nach Art der Steuerung – steigende oder fallende Flanke – der benutzten Zähl-Flip-Flops und je nach Zählrichtung muß der eigentliche Ausgang Q_1 oder der negierte Ausgang $\overline{Q}_1$ des Flip-Flops mit dem niedrigeren Stellenwert auf den Takteingang des Flip-Flops mit dem höheren Stellenwert geschaltet werden. Ergänzen Sie folgende Tabelle:

Einzutragen: Q_1 oder $\overline{Q}_1$		Zählrichtung	
		Vorwärts	Rückwärts
Steuerungsart der benutzten Zähl-Flip-Flops	0-L-Signalwechsel	$\overline{Q}_1$	
	L-0-Signalwechsel		

Dualzähler mit Zählrichtungsvorwahl

Bei asynchronen Dualzählern wird eine Veränderung der Zählrichtung dadurch erreicht, daß man die nachfolgenden Zähl-Flip-Flops wahlweise von den Arbeits- oder Ruheseiten der vorweggehenden Flip-Flops ansteuert.

Vergleichen Sie bitte Bild 9/9 mit Bild 9/17. Diese beiden Zähler arbeiten auf der Basis des OL-Signalwechsels.

Während beim Vorwärtsbetrieb alle nachfolgenden Flip-Flops von den Ruheausgängen der vorangehenden angesteuert werden, erfolgt beim Rückwärtszählbetrieb die Ansteuerung jeweils von den Arbeitsseiten der vorweggeschalteten Flip-Flops aus.

Die Konzeption eines von der Vorwärtszählrichtung auf die Rückwärtszählrichtung umschaltbaren Dualzählers bedingt eine Steuerlogik zum Wechsel der zählerinternen Verbindungsleitungen.

Ein solcher, im Zählrichtungsbetrieb vorwählbarer Dualzähler, wird in Bild 9/25 wiedergegeben.

Hinweise zur Funktion der Schaltung:

1. Schalterstellung auf V: Vorwärtsbetrieb.

Die UND-Glieder U_1, U_3 und U_5 werden von dem Zählrichtungswähler her mit L-Signal vorbereitet, während die UND-Glieder U_2, U_4 und U_6 durch das aufgeschaltete O-Signal (offener R-Kontakt) gesperrt sind.

Über die Negatoren N_1, N_2 und N_3 werden die Flip-Flop-Ausgänge $\bar{Q}_1$, $\bar{Q}_2$ und $\bar{Q}_4$ simuliert.

Die ODER-Glieder O_1, O_2 und O_3 geben immer dann einen O→L-Signalwechsel an die entsprechenden Flip-Flop-Eingänge weiter, wenn die vorgeschalteten UND-Glieder U_1, U_3 und U_5 durchgeschaltet werden.

Die weitere Signalverarbeitung erfolgt dann wie bei Bild 9/14 bereits besprochen.

2. Schalterstellung auf R: Rückwärtsbetrieb

Die Signalverarbeitung erfolgt analog der oben beschriebenen. Nur werden jetzt über die UND-Glieder U_2, U_4 und U_6 die Arbeitsausgänge Q_1, Q_2 und Q_4 direkt ausgewertet.

Die weitere Signalverarbeitung erfolgt dann wie in Bild 9/22 bereits dargestellt.

Anmerkung:

Der umschaltbare Asynchronzähler wird in der Praxis kaum eingesetzt, weil seine Arbeitsweise nicht ohne Probleme ist. So können z.B. beim Umschalten der Zählrichtung an den Ausgängen der ODER-Glieder O_1, O_2 und O_3 OL-Signalwechsel auftreten, die der Zähler irrtümlich als Zählimpulse auswertet. Schaltungstechnische Maßnahmen zur Vermeidung solcher Fehlzählungen sind zwar möglich, aber z.T. aufwendig.

Aus diesem Grund werden umschaltbare Zähler vorzugsweise als synchronarbeitende Zähler ausgeführt, deren grundsätzlicher Aufbau im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

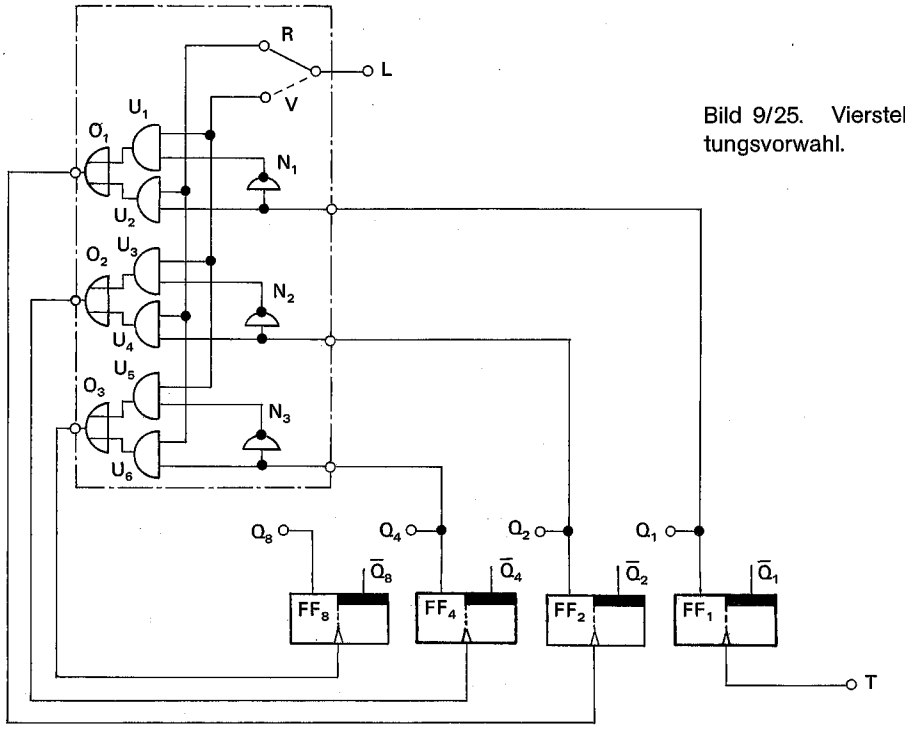


Bild 9/25. Vierstelliger, asynchroner Dualzähler mit Zählrichtungsvorwahl.

Übung 9/9 **Verständnisübung**

Umschalten von „Rückwärts" auf „Vorwärts".

a) Der Zähler in Bild 9/25 stehe auf 0L0L ≙ 5. Welche Signalwerte – 0 oder L – liegen an den Ausgängen der sechs UND- und drei ODER-Glieder, wenn der Kippschalter auf R ≙ Rückwärts steht?

b) Was geschieht, wenn ausgehend vom Zustand, der in der Übung 9/9 a) geschildert ist, der Kippschalter von „Rückwärts" auf „Vorwärts" umgelegt wird?

c) Welcher Signalwechsel am Ausgang eines Gatters muß beim Umschalten von „Vorwärts" auf „Rückwärts" bzw. umgekehrt vermieden werden, damit der Zählerstand unverfälscht bleibt?

d) Bei welchem Zählerstand darf ohne dessen Verfälschung von Rückwärts auf Vorwärts, bei welchem von Vorwärts auf Rückwärts geschaltet werden?

Synchrone und asynchrone Impulszählung

Bei asynchronen Zählern, Bild 9/26, wird nur das erste Zähl-Flip-Flop von den Zähltakten selbst gesteuert. Bereits das zweite und jedes weitere Zähl-Flip-Flop erhalten ihre Taktimpulse jeweils von der vorhergehenden Stufe.

Durch diese Abhängigkeit der Flip-Flops voneinander wird die maximal mögliche Zählfrequenz des asynchronen Zählers stark herabgesetzt. Die Begründung hierfür liegt in der möglichen Summation mehrere Flip-Flop-Schalt- bzw. Verzögerungszeiten.

Bild 9/27 zeigt die mögliche Addition der Flip-Flop-Schaltzeiten am Beispiel eines zweistelligen Asynchronzählers. Während Flip-Flop FF1 um den Zeitraum t nach dem Auftreten des zweiten Zählimpulses rückgestellt wird, wird Flip-Flop FF2 nach einer weiteren Zeit t gesetzt. Zwischen dem Eingang des Zählsignals T und dem Erreichen des neuen Zählerzustands verläuft also die Zeitspanne 2*t*.

Bei Synchronzählern werden alle Zähl-Flip-Flops synchron, d.h. gleichzeitig durch den Zähltakt angesteuert, Bild 9/28. Hierbei tritt die Flip-Flop-Schalt- bzw. Verzögerungszeit nur einmal auf (vgl. Bild 9/29).

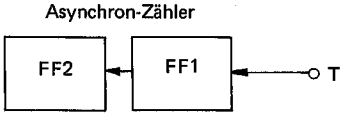


Bild 9/26. Grundprinzip des Asynchron-Zählers.

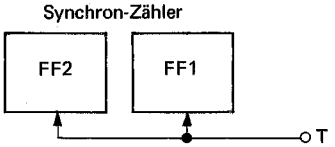


Bild 9/28. Grundprinzip des Synchron-Zählers.

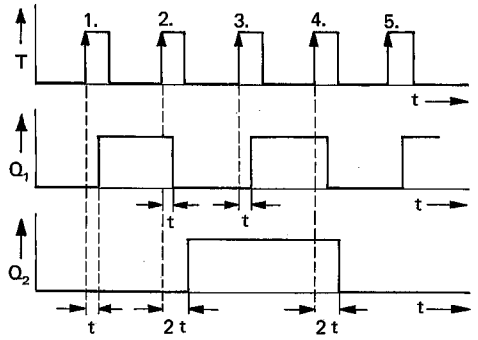


Bild 9/27. Addition der Flip-Flop-Schaltzeiten bei Asynchron-Zählern.

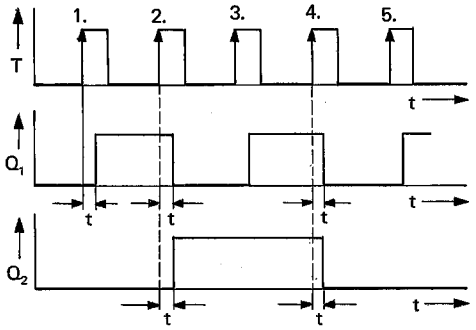


Bild 9/29. Flip-Flop-Schaltzeiten bei Synchron-Zählern.

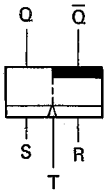


Bild 9/30. Dynamisches RS-Flip-Flop.

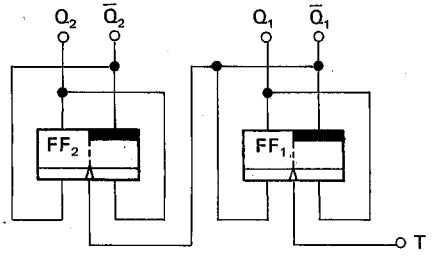


Bild 9/31. Zweistelliger Dualzähler, asynchron-vorwärtszählend, mit RS-Flip-Flop aufgebaut.

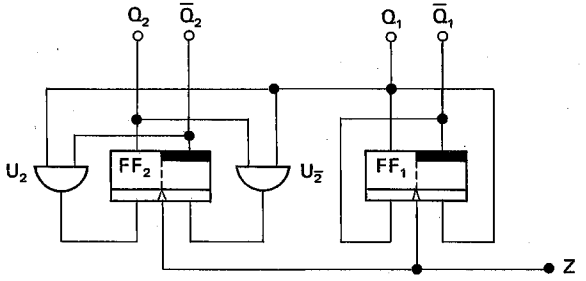


Bild 9/32. Zweistelliger Dualzähler, synchron-vorwärtszählend.

Der Vorteil synchron arbeitender Zähler bezüglich der Zählfrequenz wird durch einen größeren Schaltungsaufwand in der zum synchronen Zählbetrieb notwendigen Steuerlogik erkauft.

Für den Aufbau von Synchronzählern können ausschließlich vorbereitbare Zähl-Flip-Flops herangezogen werden. Wir benutzen für die nachfolgenden Synchronzähler-Schaltungen die aus Kapitel 6 bereits bekannten dynamischen RS-Zähl-Flip-Flops, Bild 9/30.

Bringen wir uns die Arbeitsweise dieser Flip-Flops noch einmal in Erinnerung:

Gesetzt wird das Flip-Flop mit der Bedingung:

S = L, R = 0 und einem nachfolgenden OL-Signalwechsel am Triggereingang T.

Rückgestellt wird das Flip-Flop mit der Bedingung:

S = O, R = L und einem nachfolgenden OL-Signalwechsel am Triggereingang T.

Aber nun Asynchronzähler und Synchronzähler im Vergleich.

Bild 9/31 gibt den Aufbau eines zweistelligen Asynchronzählers wieder, der mit RS-Zähl-Flip-Flops aufgebaut ist. Die Vorbereitungseingänge jedes Zähl-Flip-Flops werden von den eigenen Ausgängen her so vorbereitet, daß die Setz- bzw. Rückstellbedingungen erfüllt sind. Die Arbeitsweise dieses Zählers entspricht prinzipiell der des uns bereits bekannten Asynchronzählers nach Bild 9/9.

Bild 9/32 stellt die Schaltung eines zweistelligen synchronen Dualzählers dar. Die beiden Flip-Flops FF1 und FF2 werden parallel und somit gleichzeitig (d. h. synchron) von den Zählimpulsen angesteuert.

In dieser Schaltung fällt besonders die Steuerlogik U_2 und $U_{\overline{2}}$ vor den Vorbereitungseingängen des FF2 auf.

Tabelle 9/6. Funktionstabelle zum Dualzähler nach Bild 9/32.

Zähltakte T	Q_1	$\overline{Q}_1$	Q_2	$\overline{Q}_2$	U_2	$U_{\overline{2}}$
Ausgangsposition	0	L	0	L	0	0
vor dem 1. (0 → L) Wechsel	0	L	0	L	0	0
nach dem 1. (0 → L) Wechsel	L	0	0	L	L	0
vor dem 2. (0 → L) Wechsel	L	0	0	L	L	0
nach dem 2. (0 → L) Wechsel	0	L	L	0	0	0
vor dem 3. (0 → L) Wechsel	0	L	L	0	0	0
nach dem 3. (0 → L) Wechsel	L	0	L	0	0	L
vor dem 4. (0 → L) Wechsel	L	0	L	0	0	L
nach dem 4. (0 → L) Wechsel	0	L	0	L	0	0

Funktionsweise des zweistelligen synchron-vorwärtszählenden Dualzählers

Vergleichen Sie die Vorgänge innerhalb der Zählerschaltung, Bild 9/32, mit der Tabelle 9/6.

Beachten Sie besonders, daß sich die Veränderungen der Flip-Flop-Ausgangszustände zeitlich immer erst nach den auslösenden Taktflanken ergeben. Somit kann eine Veränderung der UND-Glieder-Ausgangszustände erst durch den nachfolgenden O→L-Signalwechsel ausgewertet werden.

Der Signal-Zeit-Plan dieses synchron-vorwärtszählenden Dualzählers entspricht für die Zählerausgänge Q_1 und Q_2 – bei Vernachlässigung der Schaltzeiten – voll und ganz dem des asynchronen Dualzählers nach Bild 9/9.

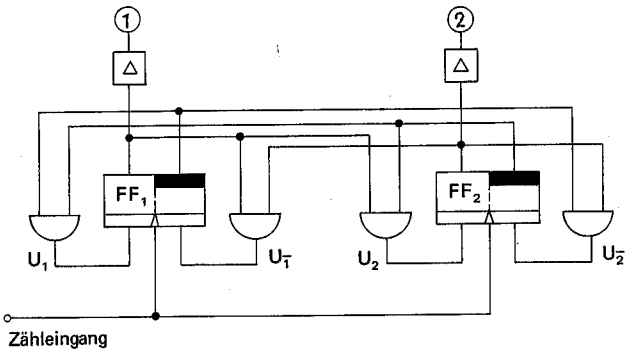


Bild 9/33. Synchron-Zähler.

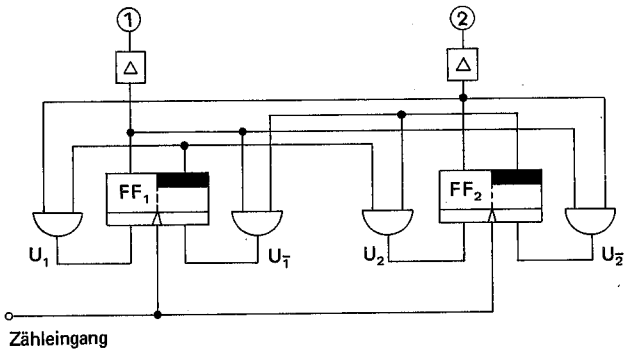


Bild 9/34. Synchron-Zähler.

Übung 9/10 **Verständnisübung**

Synchrone Zählschaltungen.

a) Das Flip-Flop FF2 in Bild 9/32 muß seinen Zustand ändern, wenn FF1 auf L steht und ein Zählimpuls *Z* kommt. Erläutern Sie, wie diese Bedingung in Bild 9/32 realisiert wird.

b) In Bild 9/33 sei $Q_1 = 0$ und $Q_2 = 0$. Ausgehend von diesem Zustand kommen nacheinander vier *Z*-Impulse. Welche Zustände treten der Reihe nach ein?

c) In Bild 9/34 und 9/35 sei jeweils der Anfangszustand $Q_1 = Q_2 = 0$. Welche Zustände treten bei vier aufeinanderfolgenden *Z*-Impulsen jeweils ein?

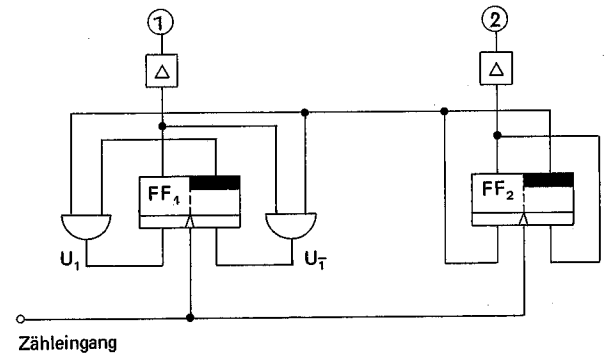


Bild 9/35. Synchron-Zähler.

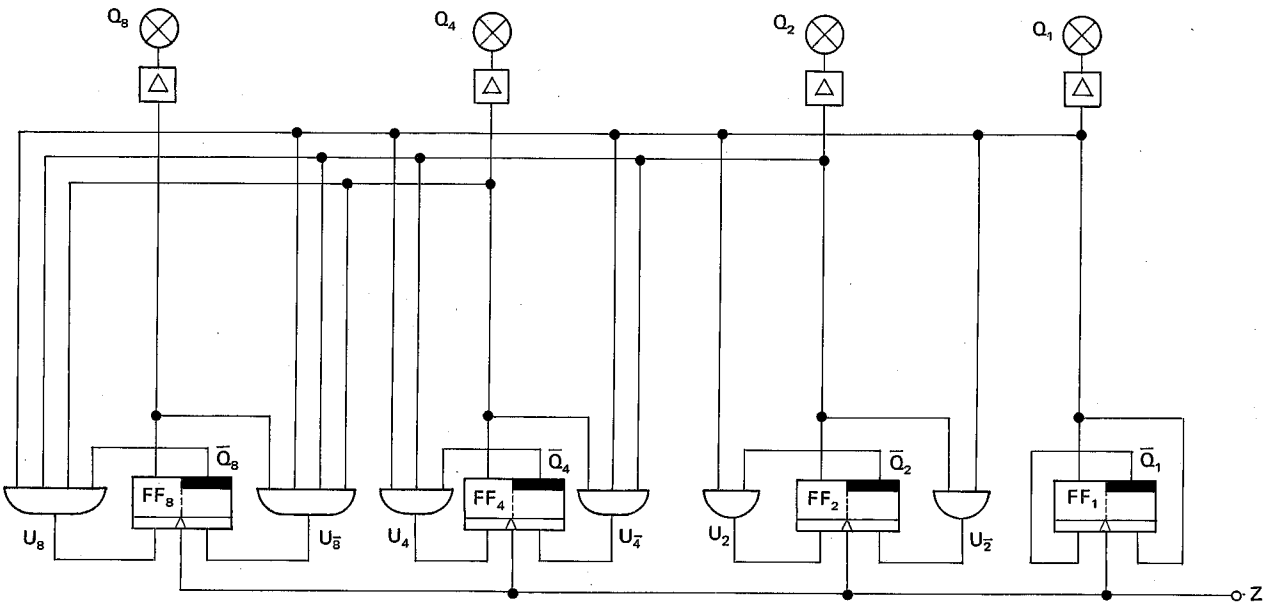


Bild 9/36. Vierstelliger Dualzähler, synchron-vorwärtszählend. △ Treiber- bzw. Verstärkerstufe

Aufbau und Funktionsweise eines vierstelligen, synchron-vorwärtszählenden Dualzählers

Die Funktionsweise dieses vierstelligen Synchronzählers entspricht prinzipiell der des behandelten zweistelligen Zählers. Funktionsgemäß wird der Aufwand an Steuerlogik jetzt allerdings größer.

Vergleichen Sie die Zählerschaltung, Bild 9/36, und die zugehörige Funktionstabelle 9/7 miteinander.

Für die Steuerlogik gelten folgende Bedingungen:

$$U_2 = Q_1 \wedge \bar{Q}_2$$
$$U_{\bar{2}} = Q_1 \wedge Q_2$$
$$U_4 = Q_1 \wedge Q_2 \wedge \bar{Q}_4$$
$$U_{\bar{4}} = Q_1 \wedge Q_2 \wedge Q_4$$
$$U_8 = Q_1 \wedge Q_2 \wedge Q_4 \wedge \bar{Q}_8$$
$$U_{\bar{8}} = Q_1 \wedge Q_2 \wedge Q_4 \wedge Q_8$$

Übung 9/11 ? **Verständnisübung**

Vergleichen Sie die Lösung von Übung 9/2 f) mit Bild 9/36. Erläutern Sie die Bedingung für eine Zustandsänderung von FF8.

Tabelle 9/7. Funktionstabelle zum Dualzähler nach Bild 9/36.

		Q_1	Q_2	Q_4	Q_8	U_2	$U_{\bar{2}}$	U_4	$U_{\bar{4}}$	U_8	$U_{\bar{8}}$
Ausgangsposition	Takt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vor dem 1. (0 → L) Wechsel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nach dem 1. (0 → L) Wechsel	1	L	0	0	0	L	0	0	0	0	0
vor dem 2. (0 → L) Wechsel		L	0	0	0	L	0	0	0	0	0
nach dem 2. (0 → L) Wechsel	2	0	L	0	0	0	0	0	0	0	0
vor dem 3. (0 → L) Wechsel		0	L	0	0	0	0	0	0	0	0
nach dem 3. (0 → L) Wechsel	3	L	L	0	0	0	L	L	0	0	0
vor dem 4. (0 → L) Wechsel		L	L	0	0	0	L	L	0	0	0
nach dem 4. (0 → L) Wechsel	4	0	0	L	0	0	0	0	0	0	0
vor dem 5. (0 → L) Wechsel		0	0	L	0	0	0	0	0	0	0
nach dem 5. (0 → L) Wechsel	5	L	0	L	0	L	0	0	0	0	0
vor dem 6. (0 → L) Wechsel		L	0	L	0	L	0	0	0	0	0
nach dem 6. (0 → L) Wechsel	6	0	L	L	0	0	0	0	0	0	0
vor dem 7. (0 → L) Wechsel		0	L	L	0	0	0	0	0	0	0
nach dem 7. (0 → L) Wechsel	7	L	L	L	0	0	L	0	L	L	0
vor dem 8. (0 → L) Wechsel		L	L	L	0	0	L	0	L	L	0
nach dem 8. (0 → L) Wechsel	8	0	0	0	L	0	0	0	0	0	0
vor dem 9. (0 → L) Wechsel		0	0	0	L	0	0	0	0	0	0
nach dem 9. (0 → L) Wechsel	9	L	0	0	L	L	0	0	0	0	0
vor dem 10. (0 → L) Wechsel		L	0	0	L	L	0	0	0	0	0
nach dem 10. (0 → L) Wechsel	10	0	L	0	L	0	0	0	0	0	0
vor dem 11. (0 → L) Wechsel		0	L	0	L	0	0	0	0	0	0
nach dem 11. (0 → L) Wechsel	11	L	L	0	L	0	L	L	0	0	0
vor dem 12. (0 → L) Wechsel		L	L	0	L	0	L	L	0	0	0
nach dem 12. (0 → L) Wechsel	12	0	0	L	L	0	0	0	0	0	0
vor dem 13. (0 → L) Wechsel		0	0	L	L	0	0	0	0	0	0
nach dem 13. (0 → L) Wechsel	13	L	0	L	L	L	0	0	0	0	0
vor dem 14. (0 → L) Wechsel		L	0	L	L	L	0	0	0	0	0
nach dem 14. (0 → L) Wechsel	14	0	L	L	L	0	0	0	0	0	0
vor dem 15. (0 → L) Wechsel		0	L	L	L	0	0	0	0	0	0
nach dem 15. (0 → L) Wechsel	15	L	L	L	L	0	L	0	L	0	L
vor dem 16. (0 → L) Wechsel		L	L	L	L	0	L	0	L	0	L
nach dem 16. (0 → L) Wechsel	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Zähltakte T

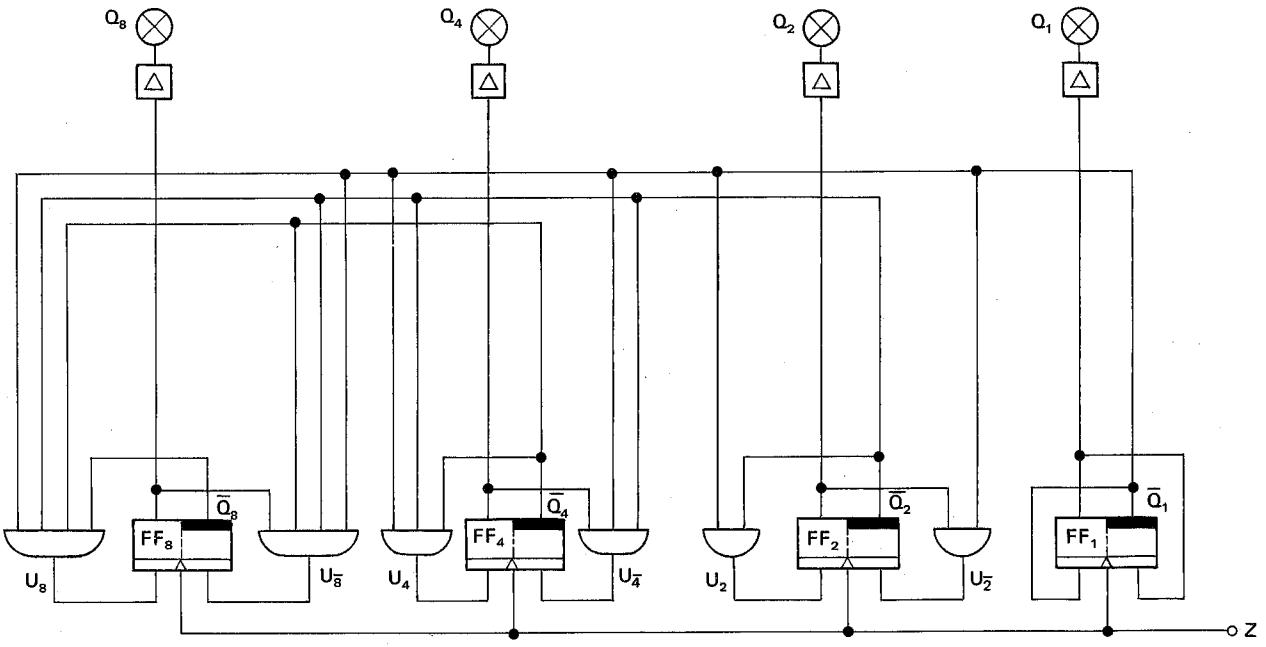


Bild 9/37. Vierstelliger Dualzähler, synchron-rückwärtszählend.

Aufbau und Funktionsweise eines vierstelligen, synchron-rückwärtszählenden Dualzählers

Bild 9/37 gibt die Schaltung eines synchron-rückwärtszählenden Dualzählers wieder. Die Steuervorgänge innerhalb des Zählers sind ähnlich denen des Vorwärtszählers, nur gelten jetzt folgende Bedingungen für die Steuerlogik:

$$U_2 = \bar{Q}_1 \wedge \bar{Q}_2$$
$$U_{\bar{2}} = \bar{Q}_1 \wedge Q_2$$
$$U_4 = \bar{Q}_1 \wedge \bar{Q}_2 \wedge \bar{Q}_4$$
$$U_{\bar{4}} = \bar{Q}_1 \wedge \bar{Q}_2 \wedge Q_4$$
$$U_8 = \bar{Q}_1 \wedge \bar{Q}_2 \wedge \bar{Q}_4 \wedge \bar{Q}_8$$
$$U_{\bar{8}} = \bar{Q}_1 \wedge \bar{Q}_2 \wedge \bar{Q}_4 \wedge Q_8$$

Aus dieser anderen Beschaltung der Steuerlogik resultiert die Rückwärtszählrichtung des Synchron-Zählers.

Rückstellung von elektronischen Zählern

Dualzähler werden nach einer bestimmten Anzahl von Zähltakten „aus sich heraus" wieder auf „Null" zurückgesetzt. Dazu sind beim zweistelligen Dualzähler 4 Zählimpulse, beim vierstelligen Dualzähler 16 Zählimpulse notwendig.

Will man elektronische Zähler zu beliebigen Zeiten oder nach beliebigen Zählinhalten zurückstellen, so bedarf es besonderer Schaltungsmaßnahmen.

Die Zähl-Flip-Flops besitzen in der industriellen Ausführung neben den dynamisch angesteuerten Eingängen auch jeweils einen zusätzlichen statischen Eingang, Bild 9/38 (s. a. Kap. 6 u. 8).

Verbindet man alle statischen Rückstelleingänge eines Zählers miteinander, so genügt ein kurzes Rückstellsignal, um alle Zähl-Flip-Flops gleichzeitig zurückzusetzen, Bild 9/39.

Je nach Ausführung des Flip-Flops wird eine Rückstellung mit L-Signal oder mit O-Signal erzwungen (Bild 9/38).

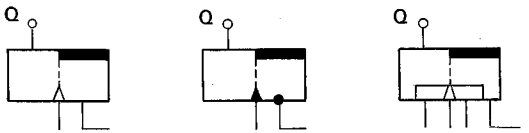


Bild 9/38. Zähl-Flip-Flops mit zusätzlichen Rückstelleingängen.

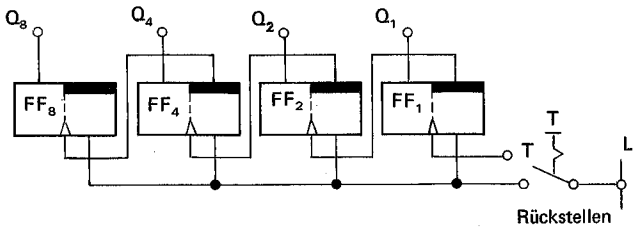


Bild 9/39. Vierstelliger Dualzähler mit Rückstell-Leitung.

Decodierung des Zählerinhaltes

Soll der Inhalt eines Zählers daraufhin überprüft werden, ob bereits eine bestimmte, vorgegebene Impulszahl aufgenommen wurde, so muß dem Zähler eine Auswertungs- oder Decodierlogik nachgeschaltet werden, Bild 9/40.

Beispiel 1:

Mit der Decodierschaltung nach Bild 9/41 wird der Dualzählerinhalt LLOO (12) über ein UND-Glied erfaßt. Dieses Glied wird nach der Bedingung

$$Z_{12} = Q_8 \wedge Q_4 \wedge \bar{Q}_2 \wedge \bar{Q}_1$$

beschaltet. Nur wenn alle diese 4 Zähl-Flip-Flop-Ausgänge gleichzeitig ein L-Signal führen, wird die UND-Bedingung erfüllt und der vorgewählte Zählerinhalt angezeigt.

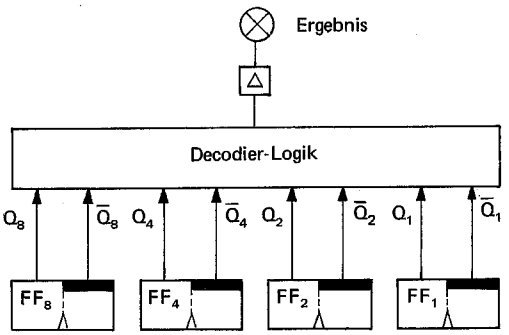


Bild 9/40. Prinzip der Zählerauswertung.

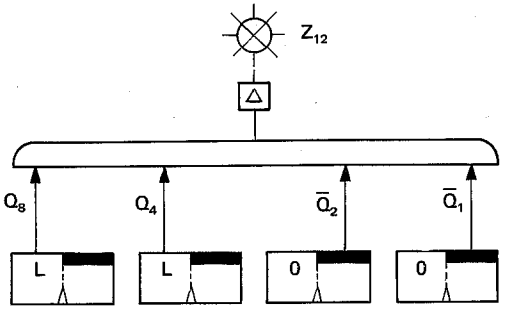


Bild 9/41. Decodierung auf Zählerinhalt LL00 (12) bei Zählerzustand LL00 (12).

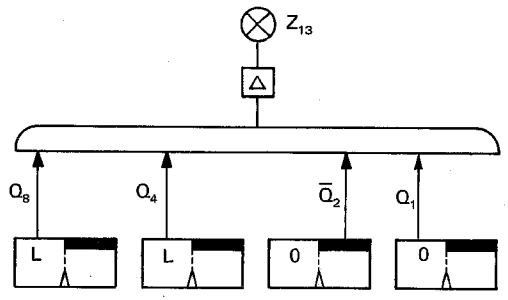


Bild 9/42. Decodierung auf Zählerinhalt LLOL (13) bei Zählerzustand LL00 (12).

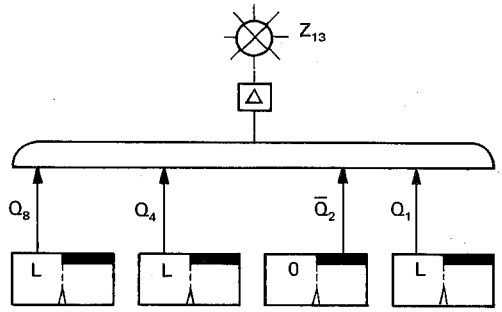


Bild 9/43. Decodierung auf Zählerinhalt LLOL (13) bei Zählerzustand LLOL (13).

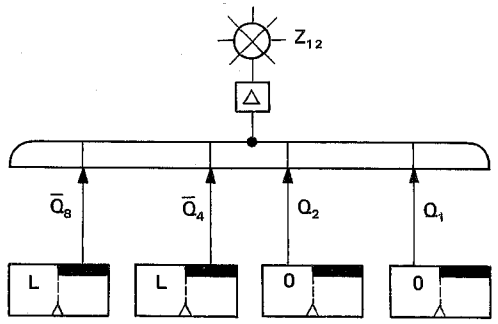


Bild 9/44. Decodierung mit NOR-Gliedern auf Zählerinhalt LL00 (12) bei Zählerzustand LL00 (12).

Beispiel 2:

Über das UND-Glied nach Bild 9/42 und 9/43 wird der Dualzählerinhalt LLOL (13) erfaßt,

$$Z_{13} = Q_8 \wedge Q_4 \wedge \bar{Q}_2 \wedge Q_1.$$

Es ist zwingend notwendig, daß auch die im Codewort enthaltenen Ziffern „Null" jeweils in die Decodierung einbezogen werden.

Würden z.B. beim Zählerinhalt LLOO (12) nur die im Codewort enthaltenen L-Signale erfaßt, so würde das Ergebnis 12 fälschlich auch bei den Dualzählerinhalten LLOL (13), LLLO (14) und LLLL (15) angezeigt.

In der Praxis werden für die Zählerauswertungen anstelle der UND-Glieder häufig auch NOR-Glieder verwendet.

In Bild 9/44 wird der Zählerinhalt LL00 (12) durch ein NOR-Glied erfaßt.

Vergleichen Sie Bild 9/41 und Bild 9/44 miteinander.

Nach der De Morganschen Regel (s. Kapitel 5) wird aus

$$Z = Q_8 \wedge Q_4 \wedge \bar{Q}_2 \wedge \bar{Q}_1$$
$$Z = \overline{\bar{Q}_8 \vee \bar{Q}_4 \vee Q_2 \vee Q_1}$$

Vorgabe eines Zählerinhaltes

In bestimmten Fällen der digitalen Informationsverarbeitung kann man nicht von den extremen Zählerinhalten „Null" (Vorwärtszähler) oder „Voll" (Rückwärtszähler) ausgehen, sondern man hat eine bestimmte Impulsreihe von vorgegebenen, im Prinzip beliebig setzbaren Zählerinhalten abzuziehen. Dies ist z.B. bei der digitalen Positionierung von Bohrwerkzeugen oder aber auch bei der Bildung der Differenz zwischen „Istwert" und „Sollwert" der Fall.

Um aber einen Zähler nicht durch Impulsaddition, sondern durch ein einmaliges Setzsignal auf einen ausgewählten Zählerinhalt bringen zu können, bedarf es einer Vorwahl-Setz-Logik, mit der jedes einzelne Zähl-Flip-Flop definiert eingestellt werden kann, vgl. Bild 9/45.

In der Praxis unterscheidet man zwischen dem statischen und dem dynamischen Voreinstellen des Zählerinhaltes. Die dazu verwendeten Schaltungen sind recht interessant, ihre Diskussion aber würde den Rahmen dieses Kapitels sprengen.

Zur Erleichterung des Verständnisses für die Notwendigkeit solcher Zählervoreinstellungen soll hier jedoch ein Beispiel, Bild 9/46, vorgestellt werden.

Zwei Zahlenwerte – „Ist" und „Soll" – sind miteinander zu vergleichen. Die sich ergebende Sollwertabweichung ist nach Betrag und Vorzeichen zu bilden.

Bei einem der möglichen Lösungswege, Bild 9/47, wird sowohl der Istwert, als auch der Sollwert in je einen Rückwärtszähler eingegeben. Danach werden die beiden Zähler über einen gemeinsamen Taktgenerator angesteuert und zurückgezählt.

Derjenige der beiden Rückwärtszähler, der zuerst den Inhalt „Null" erreicht hat, stoppt den Generator, der beide Zähler ansteuert.

Einer der beiden Zähler hat jetzt einen Zählerinhalt, der von „Null" abweicht. Aus diesem Zähler wird der Differenzbetrag zwischen „Istwert" und „Sollwert" durch eine Decodiereinheit herausgelesen und zur Anzeige gebracht. Das Vorzeichen wird durch den Zähler bestimmt, der den Inhalt „Null" erreicht hat.

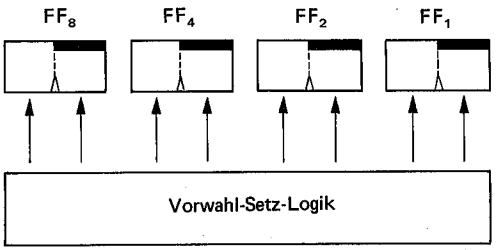


Bild 9/45. Zähler mit Vorwahl-Setz-Logik (Prinzip).

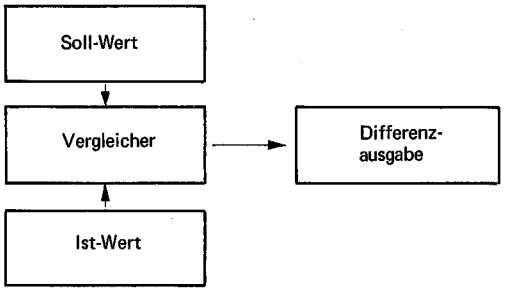


Bild 9/46. Prinzip eines Ist/Soll-Wertvergleichs.

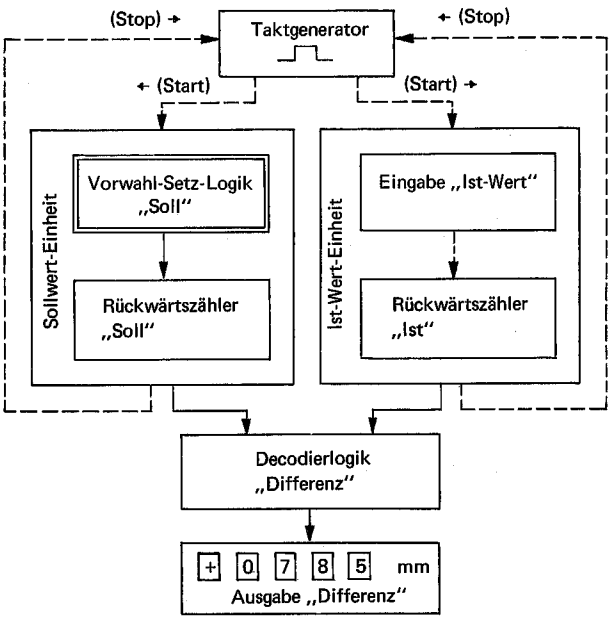


Bild 9/47. Prinzip der Ist/Soll-Wert-Differenz-Ermittlung mittels Rückwärtszähler.

Synchrone modulo-n-Zähler

Für digitale Steuerzwecke benötigt man Zähler mit festgelegten Zählkapazitäten. So kann z.B. verlangt werden, daß ein Zähler bis 7 zählt, d.h. er registriert einschließlich der „Null" $n = 8$ Zustände. Danach beginnt er wieder mit dem Zählerinhalt „Null".

Solche modulo-n-Zähler lassen sich verhältnismäßig einfach mit den in integrierter Technik gefertigten und angebotenen JK-Flip-Flops realisieren.

Um diese Steuerzähler zu beliebigen Zählabläufen zwingen zu können, bedarf es in den meisten Fällen einer Steuerlogik. Auch hier kommt die Technologie der integrierten Digitalbausteine dem Anwender entgegen. Entweder verwendet man preiswerte Logik-Bausteine, oder man greift auf die bei den Zähl-Flip-Flops bereits integrierten Logik-Vorsätze zurück (siehe auch Kapitel 6).

Bevor wir uns verschiedene synchrone modulo-n-Zähler ansehen, wollen wir uns die Arbeitsweise des JK-Flip-Flops noch einmal in Erinnerung rufen, Bild 9/48, (siehe auch Kapitel 6).

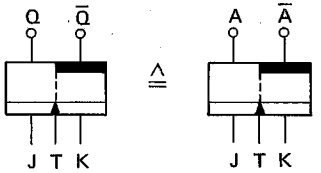


Bild 9/48. JK-Flip-Flop.
Bei den industriellen Typen werden u. a. die Ausgänge mit A und $\bar{A}$ benannt.

Bedingung für den Wechsel des Ausgangs Q von O nach L:
L an J, K beliebig, L→0-Signalwechsel bei T.
Bedingung für den Wechsel des Ausgangs $\bar{Q}$ von O nach L:
L an K, J beliebig, L→0-Signalwechsel bei T.

Anmerkungen zu den nachfolgenden Schaltungen:
Diese hier vorgestellten Schaltungen basieren auf einer integrierten Digital-Bausteinserie, die heute international sehr verbreitet ist.
Im Gegensatz zu den in den bisherigen Schaltungen getroffenen Vereinbarungen sind die Flip-Flop-Ausgänge anders benannt.

Es entspricht

$$A \triangleq Q$$
$$\bar{A} \triangleq \bar{Q}.$$

Die Stellenorganisation der Zähler erfolgt nun von links nach rechts. Beachten Sie dies bitte bei der Deutung der Flip-Flop-Wertigkeiten.

Beispiele:
Bild 9/49 gibt die Schaltung eines modulo-2-Zählers wieder. Mit dem LO-Signalwechsel des zweiten Zählsignals wird der Zähler wieder zurückgestellt.
Bild 9/50 zeigt die Schaltung eines modulo-3-Vorwärtszählers. Mit dem LO-Signalwechsel des dritten Zähltaktes wird der Zähler wieder zurückgestellt.
Bild 9/51 gibt die Schaltung eines modulo-5-Vorwärtszählers wieder. Mit dem LO-Signalwechsel des fünften Zähltaktes wird der Zähler wieder zurückgestellt.

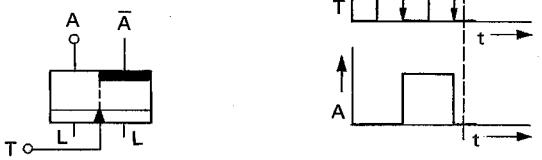


Bild 9/49. modulo-2-Zähler.

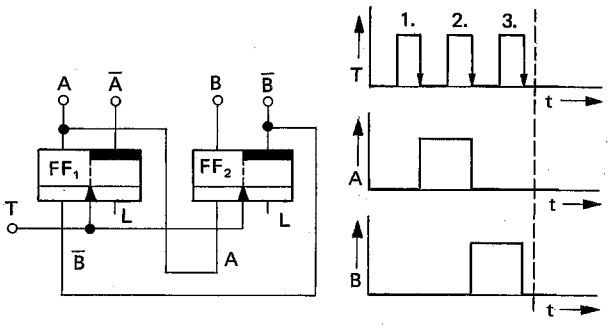


Bild 9/50. modulo-3-Zähler.

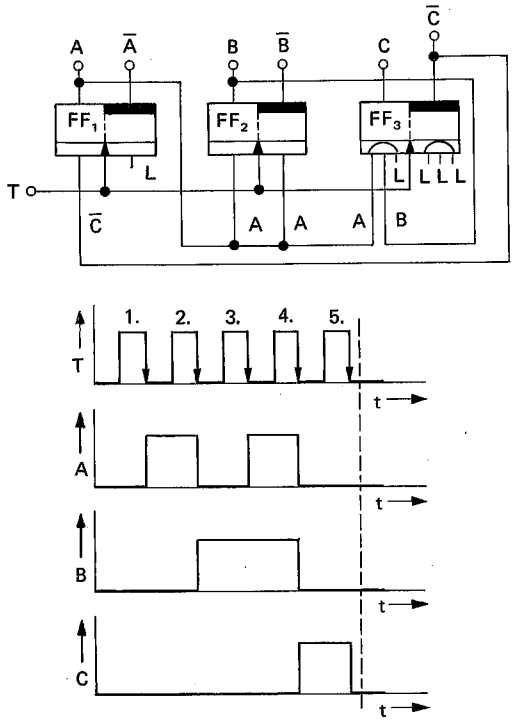


Bild 9/51. modulo-5-Zähler.

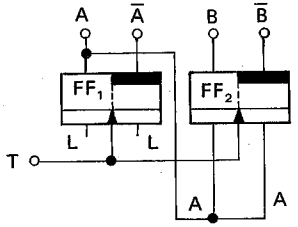


Bild 9/52. modulo-n-Zähler.

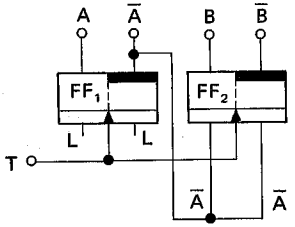
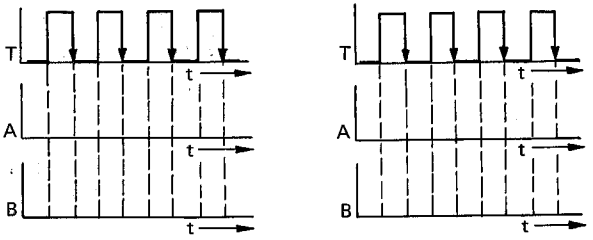


Bild 9/53. modulo-n-Zähler.

Übung 9/12 **Verständnisübung**

Signal-Zeit-Plan von modulo-n-Zählern.

a) Zeichnen Sie ausgehend von A = B = 0 zu Bild 9/52 und 9/53 je einen Signal-Zeit-Plan und bestimmen n = Anzahl T-Impulse bis zum Wiedereintreten des Ausgangszustandes. Beachten Sie: Es handelt sich um JK-Flip-Flops.



b) Analysieren Sie analog der Lösung von Übung 9/10 b) das Verhalten der Schaltung in Bild 9/54 (JK-Flip-Flops!). Ermitteln Sie n. Achtung: Die Verbindungsleitungen zwischen den Ausgängen und den vorbereitenden Eingängen wurden der Übersichtlichkeit wegen nicht gezeichnet.

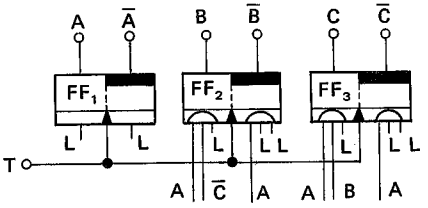


Bild 9/54. modulo-n-Zähler.

Ringzähler oder auch dekadischer Zähler

Bis zu dieser Stelle des Kapitels sind – bis auf einige Ausnahmen – vorwiegend Varianten von Dualzählerschaltungen dargestellt. Diese Dualzähler arbeiten nach der Struktur des dualen Zahlensystems bzw. nach dem an dieses angelehnten 8-4-2-1-Code (siehe Kapitel 1).

Nun lassen sich aber auch Abwandlungen der aus Kapitel 8 her bekannten Schieberegisterschaltungen zu Zählzwecken verwenden. In Bild 9/55 ist eine solche als Zählschaltung umfunktionierte Schieberegisterschaltung dargestellt. Ein paar Anmerkungen zu ihrer Arbeitsweise:

Über die Rückstell-Leitung R wird der Zähler, den man dekadischen Zähler oder Ringzähler nennt, in die Grundstellung „Null" gebracht. Dies geschieht über einen statisch wirkenden Impuls auf die Ruheseiten der Flip-Flops FF_0 bis FF_9. Der nun erreichte L-Zustand der Ruheseite des Flip-Flops FF_0 wird als Wertigkeit „O" zur Anzeige gebracht. Mit dem ersten Zählimpuls werden alle 10 Flip-Flops synchron angesteuert. Flip-Flop FF_0 übernimmt über die Ringleitungen vom Ausgang der Schaltung, also von Flip-Flop FF_9, dessen Inhalt „O", Flip-Flop FF_1 übernimmt nach dem Schieberegisterprinzip den Inhalt des Flip-Flops FF_0, usw.

Mit jedem weiteren Zählimpuls rückt das in der Schaltung enthaltene L-Signal um genau eine Stelle weiter. Mit dem zehnten Impuls wird dieses L-Signal über die Ringleitungen wieder in Flip-Flop FF_0 zurückgeführt. Die Kapazität der ersten Zähldekade ist erschöpft.

Bild 9/56 gibt nochmals die Arbeitsweise des Ringzählers wieder. Er arbeitet nach dem bekannten Prinzip des 1-aus-10-Codes (siehe Kapitel 1).

Bei mehrstelligen Zählern werden entsprechende Zähldekaden hintereinander geschaltet, Bild 9/57. Der Übertrag von der ersten zur zweiten Zähldekade erfolgt asynchron mit dem zehnten Zählimpuls.

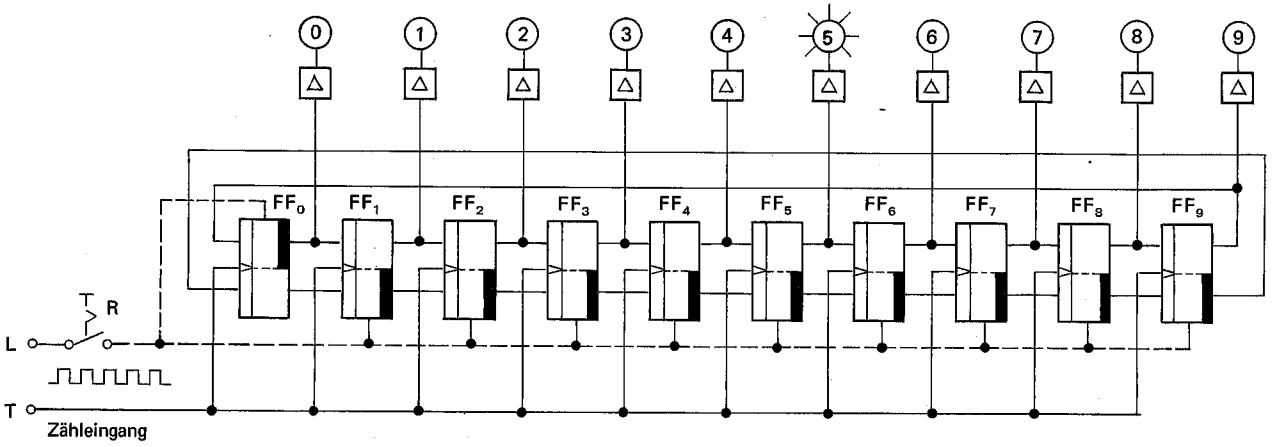


Bild 9/55. Dekadischer Zähler (Ringzähler).

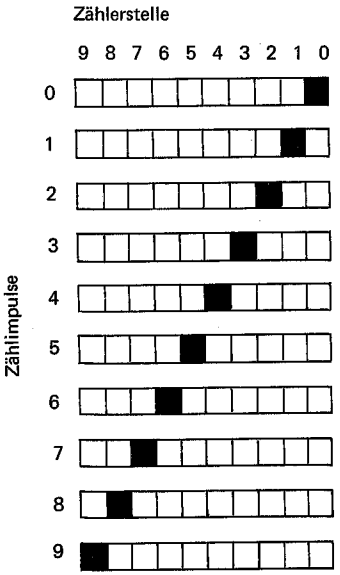


Bild 9/56. 1-aus-10-Code.

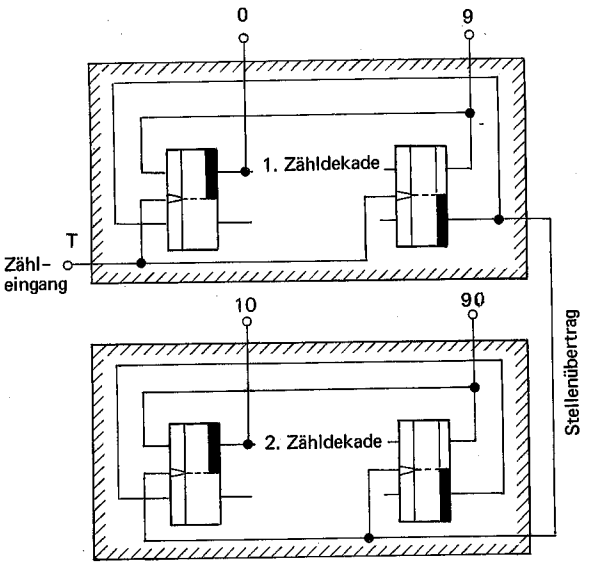
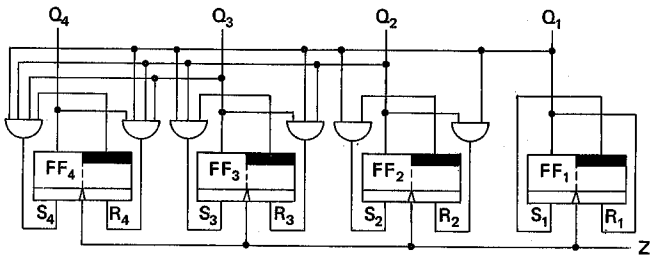


Bild 9/57. Dekadischer Zähler für zwei Stellen (Prinzip).

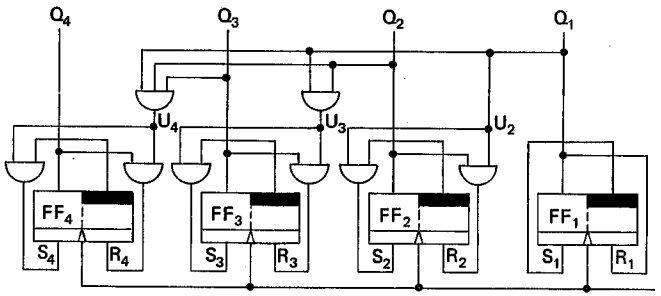
Übung 9/13 ? Formale Übung

Vereinfachung der Schaltung in Bild 9/36.



a) Vergleichen Sie die obige Schaltung mit der Schaltung in Bild 9/36. Welche Unterschiede ergeben sich hinsichtlich Bezeichnung und Funktion?

b) Erläutern Sie anhand der Eingänge S_3 und R_3 die Unterschiede hinsichtlich Schaltung und Funktion zwischen der Schaltung in Übung a) und der folgenden Schaltung.



c) Das RS-Flip-Flop FF3 von Übung 9/13 b) zusammen mit den beiden benachbarten UND-Gliedern könnte durch ein einziges JK-Flip-Flop ersetzt werden. Begründen Sie das.

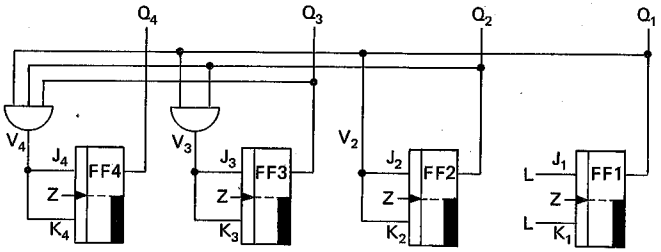
d) Zeichnen Sie die Schaltung in Übung 9/13 b) mit JK-Flip-Flops.

Übung 9/14 ? Fallstudie

Entwurf eines mod-16-Vorwärts-Rückwärts-Zählers.

Bei bestimmten Anwendungen müssen gleichzeitig zwei Impulsserien gezählt werden, von denen die eine „Vorwärts" (*V*), die andere „Rückwärts" (*R*) bedeutet. Sind z. B. 10 *ZV*-Impulse und 7 *ZR*-Impulse angekommen, so soll ein Zähler den Wert 3 ausweisen. Man spricht hier von einem Vorwärts-Rückwärts-Zähler. Er ist grundsätzlich anwendbar, wo der Füllstand eines Reservoirs mit unregelmäßigem Zu- und Abgang von stückweisem oder auch flüssigem Material angezeigt werden soll. Ein Beispiel dafür ist der Bestand an Kisten mit Bierflaschen im Lager einer Brauerei. Die Kisten rollen auf einem Transportband aus der Abfüllstation an, werden gestapelt und bei Bedarf über ein anderes Transportband an die Verladestation gebracht.

a) Welche Unterschiede bestehen hinsichtlich Anordnung der Schaltelemente, der Ausführung der Informationsleitungen und der Funktion zwischen der Schaltung in der Lösung von Übung 9/13 d) und der folgenden Schaltung eines synchronen dualen mod-16-Zählers für fallende Impulsflanken?



b) Wie lautet die Bedingung für die Teilnahme einer dualen Zählstelle an einem Rückwärtszählschritt und was geschieht dabei? Erläutern Sie das anhand der Übergänge von 0L00 ≙ 4 auf 00LL ≙ 3 sowie L000 ≙ 8 auf 0LLL ≙ 7, in beiden Fällen für die zweitvorderste Stelle mit dem Stellenwert 4.

c) Übung 9/14 b) hat ergeben, daß ein Flip-Flop bei einem Rückwärtszählschritt genau so wie bei einem Vorwärtszählschritt in seinem Zustand umgekehrt wird. Es muß also unter bestimmten Bedingungen eine Umkehrvorbereitung erfolgen. Durch welche logische Verknüpfung kann erreicht werden, daß je nach Zählrichtung einmal das Signal V_3 aus der vorletzten, einmal das Signal R_3 aus der letzten Teilaufgabe die Umkehrvorbereitung von FF3 bewirkt? Zeichnen Sie FF3 mit den zugehörigen Gattern für V_3 und R_3.

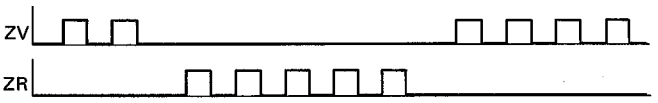
d) Wie kann man bei der Schaltung in der Lösung von Übung 9/14 c) sicherstellen, daß V_3 nur wirksam werden kann, wenn ein *ZV*-Impuls (Zähl-Vorwärts!) anliegt, und R_3 nur bei einem *ZR*-Impuls?

e) Ist ein Zähl-Flip-Flop auf einen Zählschritt vorbereitet, so muß anschließend auch eine Taktung (hier mit L-0-Signalwechsel) erfolgen. Wie kann man sicherstellen, daß das bei beiden Zählrichtungen geschieht? Ergänzen Sie entsprechend die Schaltung in Übung 9/14 c) und berücksichtigen dabei auch das Ergebnis der Übung 9/14 d).

f) Zeichnen Sie die Schaltung für den Vorwärts-Rückwärts-Zähler. Lassen Sie dabei, ähnlich wie in Übung 9/14 a), die Führung der *Z*-Leitung offen.

g) Der Vorwärts-Rückwärts-Zähler in Übung 9/14 f) befinde sich im Zustand 0L00. Es soll analysiert werden, welcher Folgezustand eintritt, wenn dabei die *verbotene* Kombination $ZV = ZR = L$ eintritt (ein Vorwärts- und ein Rückwärtszählimpuls in genauer zeitlicher Übereinstimmung). Was müßte demgegenüber geschehen, wenn der Zähler den zusammenfallenden Vorwärts- und Rückwärtszählschritt sinngemäß richtig wiedergeben sollte?

h) Zeichnen Sie einen Signal-Zeit-Plan für die Funktionen Z, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, V_1, V_2, V_3, V_4, R_1, R_2, R_3, R_4 (in dieser Reihenfolge von oben nach unten) des Vorwärts-Rückwärts-Zählers, ausgehend vom Zustand 0000 zu folgender Vorgabe:



Vorgehensweise: Zuerst zeichnen Sie durchgehend *Z*, sodann die Signalkurven von Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, zunächst jeweils bis zur nächsten fallenden Taktflanke von *Z*. Anschließend werden für diesen Signalzustand der *Q* die entsprechenden Signalwerte der *V* und *R* eingetragen. Gemäß den damit bekannten Umkehrvorbereitungen können Sie nun die Signal-Zeit-Pläne der *Q* fortführen. Das ganze wiederholt sich. Überlegen Sie von Schritt zu Schritt, ob der neu eingetretene Signalzustand der *Q* als duale Zahl gemäß der Zählrichtung sinnvoll scheint! Beachten Sie, daß beim Kilometer-Zähler 999 999 + 1 = 000 000 ist, also sinngemäß 000 000 - 1 = 999 999 sein müßte.

10. Binäre Zähler in der Anwendung

Bei vielen Kontroll- und Meßaufgaben in Technik, Wirtschaft und Forschung ist das Zählen von Mengen oder Ereignissen eine wesentliche, unumgängliche Maßnahme. Obwohl der eigentliche Zählvorgang im Prinzip simpel und immer gleich ist, sind die praktischen Aufgabenstellungen recht vielfältig und unterschiedlich: So müssen Apfelsinen vor dem automatischen Abpacken in Verkaufsbeutel ebenso gezählt werden wie radioaktive Partikel bei einer medizinischen Forschungsaufgabe oder die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde (Hertz) eines Hochfrequenzsenders zur Überwachung der Frequenzkonstanz, s. a. Bild 10/1.

Die erforderlichen Zähler und die zugehörigen Hilfseinrichtungen zum Erfassen und Auswerten der Zählvorgänge müssen in ihrer technischen Konzeption auf die jeweilige Aufgabenstellung zugeschnitten sein.

Während z.B. bei geringen Zählgeschwindigkeiten i.a. mechanische oder elektromechanische Zähler genügen, werden zum Erfassen schneller Zählimpulsfolgen elektronische Zähler eingesetzt, die noch Zählfrequenzen bis in den Gigahertzbereich verarbeiten können.

Aus Gründen der konstruktiven Einfachheit, der Funktionssicherheit und der universellen Verwendbarkeit arbeiten elektronische Zähler ausschließlich binär. Wegen ihrer Vorzüge sind sie wichtige Funktionseinheiten in modernen digitalen Meßeinrichtungen, die z.B. zum Messen der Frequenz, der Geschwindigkeit, der Drehzahl, der Spannung, des Stromes, der Temperatur, des Druckes, des Weges, der Kraft und der Zeit verwendet werden.

Einige Beispiele der Anwendung binärer Zähler werden im folgenden beschrieben.

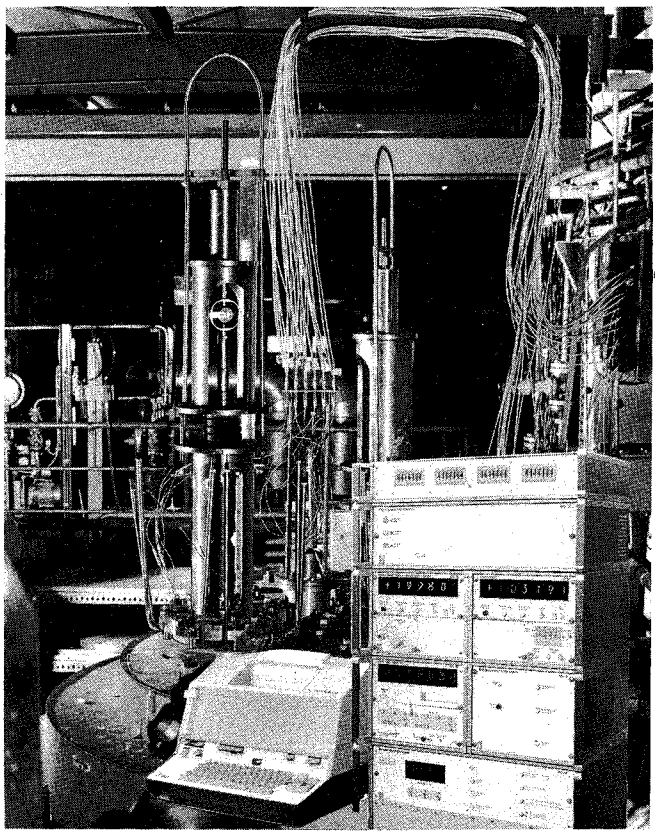


Bild 10/1. Anlage zur digitalen Meßwerterfassung und -auswertung mit elektronischen Zählern und Fernschreiber zur Datenfernübertragung.
Funktionseinheiten, von oben nach unten: Anpassungsschaltung, Grenzwertmelder, Analog-Digital-Umsetzer und Impulszähler, Digitaluhr und Datenausgabesteuerung, Meßstellenumschalter, links daneben Fernschreiber.

Bild 10/2. Elektronischer Zählautomat zum Abzählen von Kleinteilen.

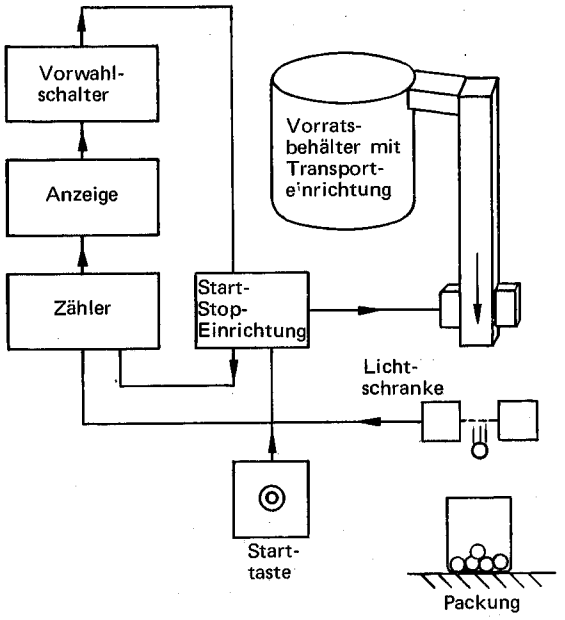


Bild 10/3. Blockschema eines einfachen Mengenzählers.

Beispiel eines Mengenzählers mit Vorwahl

Um die einzelnen Funktionsschritte zu erläutern, die i.a. jede Zähleinrichtung durchführen muß, wird in den folgenden Abschnitten zunächst auf das Beispiel einer einfachen Mengenzählung eingegangen, Bild 10/2 und 10/3.

Es besteht die Aufgabe, von einer großen Menge einzelner Stücke (z.B. Schrauben) bestimmte Stückzahlen abzuzählen und zu verpacken.

Die ungezählte Menge der Stücke befindet sich in einem Vorratsbehälter. Wenn eine elektromechanische Transporteinrichtung (z.B. ein Vibrationsförderer) in Gang gesetzt wird, fallen die abzuzählenden Teile einzeln durch eine Lichtschranke in eine bereitstehende Packung.

Die Lichtschranke dient als Fühler der Zähleinrichtung. Sie gibt die Zählimpulse auf den Zähler. Der Zähler schaltet bei jedem Zählimpuls um einen Schritt weiter. Zur Kontrolle wird der jeweilige Zählerstand optisch angezeigt.

Sobald ein bestimmter Zählerstand erreicht ist, wird ein Stop-Signal gegeben, wodurch der Nachschub des Zählgutes sofort beendet wird.

Das Stop-Signal löst außerdem die Rückstellung des Zählers aus; das heißt, der Zählerstand wird auf Null gesetzt und der Zähler damit für die Zählung einer neuen Partie vorbereitet. Nach dem Ersetzen der gefüllten Packung durch eine leere Packung am Abfüllort kann durch ein neues Startsignal der nächste Zählvorgang eingeleitet werden.

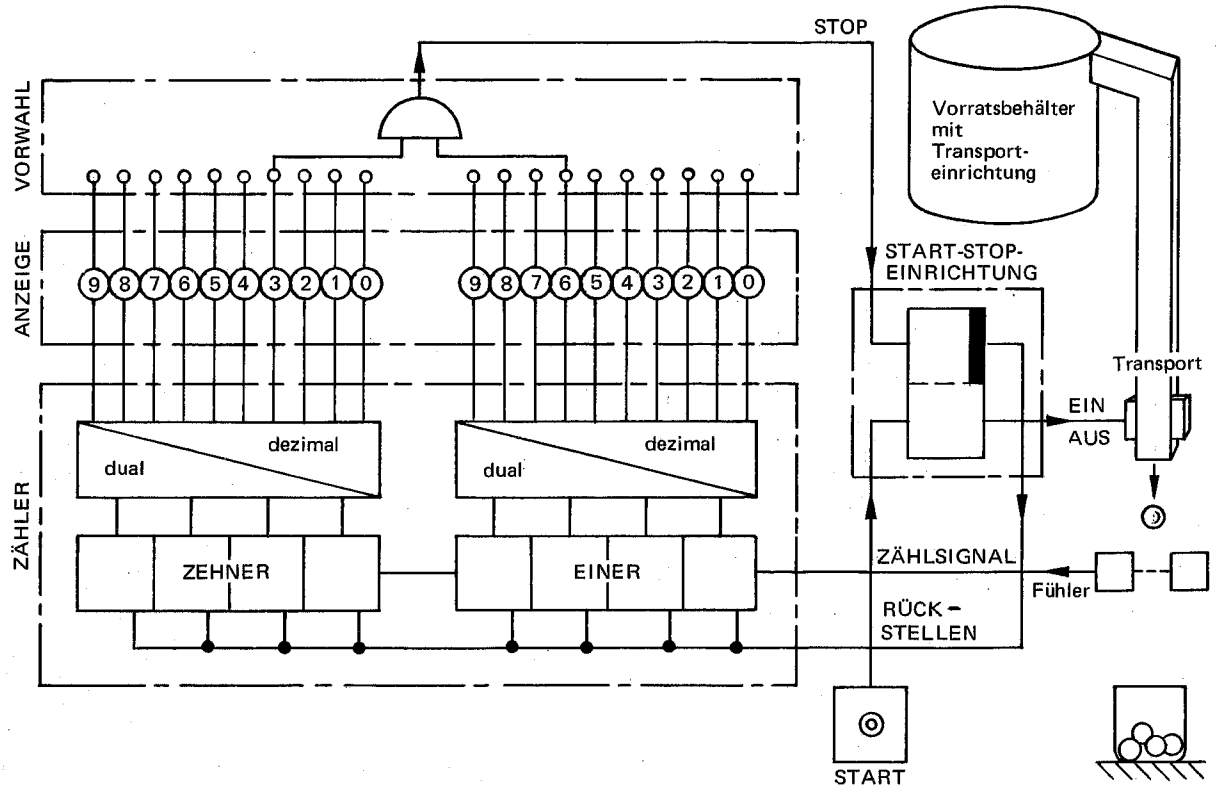


Bild 10/4. Ein zweistelliger Mengenzähler mit vorwählbarer Einstellung der abzuzählenden Stückzahl.

Bild 10/4 zeigt das Schema des Mengenzählers entsprechend Bild 10/3 mit einigen zusätzlichen Verdeutlichungen zu den einzelnen Funktionseinheiten. Auf dieses Bild wird im folgenden bei den weiteren Erläuterungen zur Wirkungsweise der Mengenzähleinrichtung wiederholt zurückgegriffen werden.

Dualzähler oder Dezimalzähler?

Als schnelle Zähler für Mengenzählungen eignen sich elektronische Digitalzähler, die aus einzelnen Flip-Flops zusammengesetzt werden.

Die Zählkapazität eines aus Flip-Flops zusammengesetzten Dualzählers richtet sich bekanntlich nach der Anzahl der verwendeten Flip-Flops (s. Kapitel 9, S. 222).

Beispielsweise kann mit einem Zähler, der aus nur zwei Flip-Flops besteht, nur bis 3 gezählt werden, weil ein solcher Zähler nur vier verschiedene Signalzustände (für 0, 1,2,3) einnehmen kann.

Werden drei Flip-Flops verwendet, so können damit 8 verschiedene Signalzustände ausgedrückt werden:

Der Zähler kann bis 7 zählen und kehrt mit dem 8. Zähltakt wieder in den Signalzustand „Null" zurück.

Ein Zähler aus vier Flip-Flops kann 16 verschiedene Signalzustände einnehmen, er zählt also von 0 bis 15.

Die Zählkapazität kann durch weitere Flip-Flops entsprechend vergrößert werden. Da ein nach diesem Prinzip aufgebauter Zähler die Zählimpulse im Dualcode erfaßt, ist es – vor allem bei großen Zahlen – relativ aufwendig, die Signalzustände herauszulesen bzw. in das allgemein verständlichere und geläufige Dezimalsystem umzusetzen.

Digitalzähler werden deshalb meist nicht als reine Dualzähler, sondern als binär arbeitende Dezimalzähler nach folgendem System aufgebaut:

Ein mehrstelliger Dezimalzähler wird aus einzelnen Zählereinheiten (man spricht auch von Zähldekaden) zusammengesetzt. Jede Zählereinheit zählt von 0 bis 9 und verkörpert eine Dezimalstelle.

Ein dreistelliger Dezimalzähler besitzt also drei gleichartig aufgebaute Zählereinheiten, wobei die erste Einheit die „Einer", die zweite Einheit die „Zehner" und die dritte Zählereinheit die „Hunderter" im Dezimalsystem zählt.

Wenn z.B. die Zählereinheit für die „Einer" den 10. Zählimpuls erhält, wird sie in den Zustand „Null" zurückversetzt und gibt dabei als „Übertrag" einen Zählimpuls an die Zählereinheit für die „Zehner" weiter, die nun den Zählerinhalt „1" zeigt. Der dezimal-dreistellige Zähler enthält dann insgesamt den Zählerinhalt „010".

Beispiel: In den beiden Zählern von Bild 10/5 ist der Zählerinhalt jeweils „36".

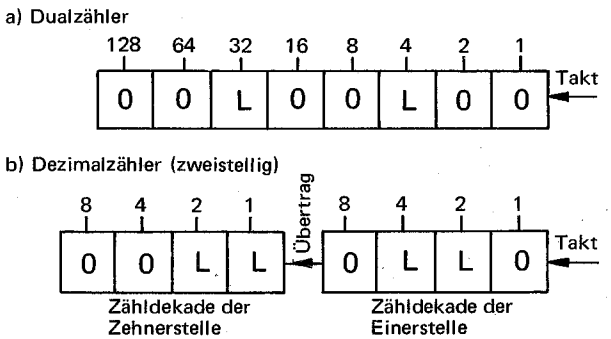


Bild 10/5. Zur Zählweise von Zählern.

a) Zähler A zählt fortlaufend im Dualcode

b) Zähler B zählt in jeder der beiden Zähldekaden dual von 0 bis 9; mit dem 10. Zähltakt erfolgt ein Übertrag zur nächsten Zähldekade

Dualzähler, von 0 bis 9 zählend, als Bausteine von Dezimalzählern

Welchen Aufbau haben die einzelnen binär arbeitenden Zählstufen des Dezimalzählers?

Man kann z.B. für jede Zählstufe, die von 0 bis 9 zählen soll, einen entsprechend umgestalteten Dualzähler mit vier Flip-Flops verwenden. Da ein gewöhnlicher aus vier Flip-Flops bestehender Dualzähler 16 verschiedene Signalzustände einnehmen und somit von 0 bis 15 zählen kann, sind 6 Signalzustände für eine Verwendung als Zähldekade überflüssig. 6 Signalzustände müssen folglich übersprungen werden, damit der Zähler mit dem 10. Zählimpuls wieder in den Signalzustand Null versetzt wird.

Das Überspringen von 6 Signalzuständen bei 16 möglichen kann durch verschiedene schaltungstechnische Maßnahmen erreicht werden, auf die noch im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

Bild 10/5 zeigt in einer Gegenüberstellung schematisch die Organisationsunterschiede eines reinen Dualzählers (a) und eines Dezimalzählers (b), der aus einzelnen dual von 0 bis 9 zählenden Zähldekaden besteht.

Im abgebildeten Beispiel besitzen beide Zähler den Zählerinhalt „36".

Es wird deutlich, daß aus den einzelnen Zähldekaden des binär arbeitenden Dezimalzählers nur jeweils die Signalzustände für die Zahlen von 0 bis 9 herausgelesen werden müssen. Daraus ergibt sich ein technologischer Vorteil: Für alle Zähldekaden können die gleichen Decodiereinrichtungen eingesetzt werden! Wegen dieses Vorteils ist auch der in Bild 10/4 vorgestellte Mengenzähler als binär arbeitender Dezimalzähler konzipiert. Er besitzt zwei Zählereinheiten, eine Einheit für die dezimale „Einer-Stelle" und eine Einheit für die dezimale „Zehner-Stelle". Der zweistellige Zähler kann von „00" bis „99" zählen.

Übung 10/1 ?

Vergleich der Stellenzahl von Zählern.

a) In welchem Signalzustand befindet sich ein siebenstelliger Dualzähler, wenn 85 Zähltakte gezählt wurden (Flip-Flop-Stellungen angeben)?

b) In welchem Signalzustand befindet sich ein aus zwei im Dualcode zählende Zähldekaden bestehender zweistelliger Dezimalzähler, wenn 85 Zählimpulse gezählt wurden (die Flip-Flop-Stellungen angeben)?

c) Die Zahl Neunhundertneunundneunzig wird dezimal als 999 und dual als LLLLLOOLLL dargestellt. Um welchen Faktor vermehrt sich in diesem Fall die Stellenzahl beim Übergang von dezimalen zum dualen System?

d) Wieviel Flip-Flops benötigt man, wenn man
- rein dual bis 999 999 zählen will,
- binär-dezimal (mit Zähldekaden) bis 999 999 zählen will?

Ein Schaltungsbeispiel für eine Zähldekade

Bild 10/6 enthält die Schaltung einer Zähldekade, die nach dem 9. Zählschritt (Signalzustand LOOL) durch den 10. Zählimpuls direkt in den Nullzustand zurückgeschaltet werden kann.

Es handelt sich hierbei um eine Zählerschaltung, die in integrierter Form als elektronischer Digitalbaustein weite Verbreitung gefunden hat (Typenbezeichnung z.B. SN 7490; FLJ 161 usw.).

Dieser Zähler besteht aus vier JK-Flip-Flops. Jedes Flip-Flop besitzt die Vorbereitungseingänge J und K (s.a. Kapitel 6) und einen dynamischen Eingang, über den das Flip-Flop jeweils bei einem Signalwechsel von L auf O umgeschaltet werden kann (schwarzes Eingangsdreieck), wenn an den Vorbereitungseingängen entsprechende Signale anliegen.

Ein JK-Flip-Flop läßt sich bekanntlich durch einen Taktimpuls am dynamischen Eingang nur dann umschalten, wenn jeweils an demjenigen Vorbereitungseingang L-Signal anliegt, der zu einer gerade O-Signal führenden Flip-Flop-Seite gehört. Daraus folgt, daß ein JK-Flip-Flop auch dann abwechselnd durch Taktimpulse umgeschaltet werden kann, wenn beide Vorbereitungseingänge gleichzeitig L-Signal erhalten. Wenn jedoch beide Vorbereitungseingänge gleichzeitig O-Signal bekommen, läßt sich ein JK-Flip-Flop über den Takteingang nicht beeinflussen.

Im folgenden soll die Arbeitsweise der in Bild 10/6 abgebildeten Zählerschaltung näher untersucht werden. Zuvor sei aber auf eine Festlegung hingewiesen, die sich auf die Beschaltung der Vorbereitungseingänge der Flip-Flops bezieht:

Für alle JK-Vorbereitungseingänge, die nicht äußerlich beschaltet werden, wird angenommen, daß sie ständig mit L-Signal belegt sind (vgl. auch Kapitel 8).

Die Übersicht in Bild 10/6 zeigt, daß der vorliegende Zähler von 0 bis 9 binär nach dem Dualsystem zählt. Die Flip-Flops verkörpern binäre Zählstufen mit den zugeordneten Stellenwerten 8-4-2-1 (vom höchsten Stellenwert „8" ≙ FF4 her gerechnet). Man sagt in diesem Fall auch, der binär arbeitende Dezimalzähler zählt im 8-4-2-1-Code (s. Kapitel 1).

Welche Wirkungsschritte laufen im Zähler beim Zählen von 0 bis 9 im einzelnen ab?

Ausgangszustand

Im Ausgangszustand sollen sich alle Flip-Flops in der Ruhelage befinden. Alle Arbeitsausgänge führen O-Signal; der Zähler enthält also insgesamt den Signalzustand OOOO.

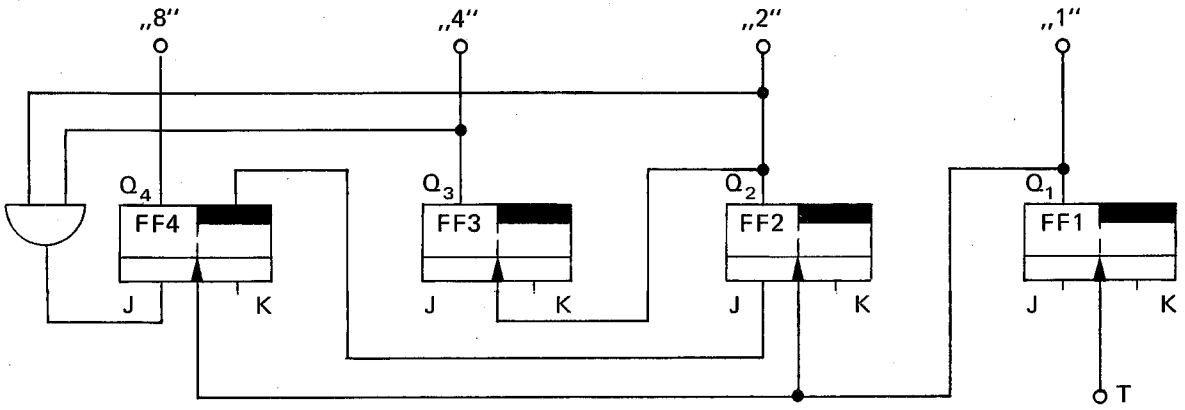
1. Zählschritt

Das Flip-Flop FF1 wird mit der abfallenden Flanke des ersten Zählimpulses in den Arbeitszustand gesetzt. Der Zähler befindet sich nun im Signalzustand OOOL.

2. Zählschritt

Mit dem zweiten Zählimpuls wird FF1 wieder in die Ruhelage gekippt. Der an seinem Arbeitsausgang auftretende L-O-Signalwechsel gelangt an die Takteingänge der Flip-Flops FF2 und FF4. FF2 wird in die Arbeitslage gesetzt, weil sein Vorbereitungseingang J vom Ruheausgang des Flip-Flops FF4 L-Signal erhält. FF4 wird hingegen durch den L-O-Signalwechsel von FF1 her nicht umgeschaltet, weil sein Vorbereitungseingang J vom UND-Glied her O-Signal erhält; die Eingänge des UND-Gliedes bekamen bisher von den Flip-Flops FF2 und FF3 O-Signal. Mit der Vollendung des 2. Zählschrittes enthält der Zähler den Signalzustand OOLO.

a)



b)

Signalzustände der Zähldekade (8–4–2–1–Code)				Zähl-
FF4	FF3	FF2	FF1	takt
0	0	0	0	0
0	0	0	L	1
0	0	L	0	2
0	0	L	L	3
0	L	0	0	4
0	L	0	L	5
0	L	L	0	6
0	L	L	L	7
L	0	0	0	8
L	0	0	L	9
(0)	(0)	(0)	(0)	(10)
0	0	0	L	(11)

Bild 10/6. Beispiel für eine Zähldekade (8-4-2-1-Code).

a) Schaltung des Dezimalzählers (Asynchronzähler).

b) Übersicht über die möglichen Signalzustände.

Anmerkung: Die nicht beschalteten J-K-Vorbereitungseingänge der hier verwendeten J-K-Flip-Flops erhalten ständig L-Signal.

3. Zählschritt

Der dritte Zählimpuls setzt FF1 in die Arbeitslage. Die übrigen Flip-Flops werden durch den O-L-Signalwechsel am Ausgang des FF1 nicht beeinflußt. Der Zählerinhalt ist nun OOLL.

4. Zählschritt

FF1 wird in die Ruhelage gekippt. Der an seinem Arbeitsausgang auftretende L-O-Signalwechsel kippt auch FF2 in die Ruhelage, denn dessen Vorbereitungseingang K wird stets mit L-Signal versorgt.

Das Rückkippen des FF2 erzeugt nun auch für FF3 einen Umschaltbefehl, d.h. FF3 wird in die Arbeitslage gesetzt (FF3 kann ebenso wie FF1 durch aufeinanderfolgende Taktimpulse abwechselnd umgeschaltet werden, weil bei diesen Flip-Flops beide Vorbereitungseingänge ständig intern L-Signal erhalten).

FF4 bleibt trotz des L-O-Signalwechsels an seinem dynamischen Eingang weiterhin in der Ruhelage, weil das UND-Glied zu Beginn des 4. Zählschritts noch O-Signal lieferte: Der Arbeitsausgang des FF3 führte bis zum Umschalten O-Signal, so daß die UND-Bedingung nicht erfüllt war.

Mit der Vollendung des 4. Zählschritts befindet sich der Zähler im Signalzustand OLOO.

5. Zählschritt

Die abfallende Flanke des 5. Zählimpulses setzt FF1. Wie beim ersten Zählschritt werden die übrigen Flip-Flops nicht beeinflußt.

Der Zählerinhalt ist nun OLOL.

6. Zählschritt

Wie beim zweiten Zählschritt wird FF1 zurückgestellt und FF2 gesetzt. FF3 bleibt in der Arbeitslage und FF4 noch in der Ruhelage, denn das UND-Glied zur Vorbereitung des Eingangs J an FF4 lieferte beim Auftreten des L-O-Signalwechsels O-Signal, bestimmt durch das bisherige O-Signal von FF2.

Der Zählerinhalt ist nun OLLO.

7. Zählschritt

FF1 wird gesetzt, an seinem Ausgang wechselt das Signal von O auf L, was keinen Einfluß auf die übrigen Flip-Flops hat. Der Signalzustand des Zählers ist nun OLLL.

8. Zählschritt

Seit dem 6. Zählschritt führen die Flip-Flops FF2 und FF3 gleichzeitig L-Signal an ihren Ausgängen, so daß das angeschlossene UND-Glied seitdem L-Signal an den Vorbereitungseingang J des FF4 bringt.

Mit der abfallenden Flanke des 8. Zählimpulses wird zunächst FF1 in die Ruhelage gekippt. Der dabei an dessen Ausgang auftretende L-O-Signalwechsel setzt nun FF4 in die Arbeitslage – gemäß dem vorbereitenden L-Signal auf dessen J-Eingang. Außerdem setzt der L-O-Signalwechsel am Ausgang des FF1 nun FF2 in den Ruhezustand zurück und durch den am Ausgang von FF2 entstehenden L-O-Signalwechsel wird auch FF3 in den Ruhezustand gesetzt. Der Zähler ist nun im Signalzustand LOOO.

9. Zählschritt

Durch das Setzen des Flip-Flops FF1 mit dem 9. Zählimpuls wird schließlich der Signalzustand LOOL eingestellt. Die Flip-Flops FF2, FF3 und FF4 verbleiben in ihren vorher eingestellten Zuständen.

10. Zählschritt – Rückstellen auf „Null"

Mit dem nächsten, dem 10. Zählimpuls, wird der Zähler wieder in den Signalzustand OOOO gebracht, der zu Beginn des Zählens vorhanden war. Das Rückstellen des Zählers in den Nullzustand vollzieht sich im einzelnen folgendermaßen:

FF1 wird durch den 10. Zählimpuls aus der Arbeitslage in die Ruhelage gekippt. Der dabei entstehende L-O-Signalwechsel am Ausgang des FF1 kann sich jedoch nicht wie bisher auf FF2 auswirken, da dessen Vorbereitungseingang J vom Ruheausgang des FF4 her O-Signal erhält (FF4 befindet sich seit dem Vollzug des 8. Zählschritts in der Arbeitslage). Dagegen schaltet der von FF1 ausgehende O-L-Signalwechsel das Flip-Flop FF4 in die Ruhelage zurück, denn dessen Vorbereitungseingang K führt vereinbarungsgemäß dauernd L-Signal. Damit ist der Ausgangszustand für einen neuen Zählzyklus eingestellt. Mit dem Nullsetzen des Zählers kann gleichzeitig ein Übertragsimpuls auf eine weitere Zähldekade gegeben werden.

Übung 10/2

Fragen zur asynchronen Zähldekade in Bild 10/6.

a) Wo kann in der Zähldekade von Bild 10/6 ein Anschluß für den Zehnerübertrag vorgesehen werden, der beim Rückstellen der Zähldekade in den Nullzustand zur benachbarten höherwertigen Zähldekade weitergegeben werden soll?

b) Auf dem Eingang J von FF 4 liegt das Signal $Q_2 \wedge Q_3$. Es hat im Zustand 0LL0 ≙ 6 den Wert L. Warum wird trotzdem FF 4 erst im Anschluß an den nachfolgenden Zustand 0LLL ≙ 7 gesetzt? Versuchen Sie eine logische Interpretation des Zusammenspiels von Vorbereitung und Taktung.

Ein BCD-Zähler, im 2-4-2-1-Code zählend

Für binär arbeitende Dezimalzähler wird häufig die Abkürzung BCD-Zähler verwendet. Die Abkürzung BCD steht für den englischen Ausdruck „Binary Coded Decimal" (wörtlich übersetzt: binär codiert dezimal).

Auch der im vorhergehenden Abschnitt dieses Kapitels beschriebene Zähler kann als BCD-Zähler bezeichnet werden. Er zählt nach dem 8-4-2-1-Code. Dieser Code ist für BCD-Zähler aber nur einer von vielen möglichen.

Mit dem folgenden Beispiel, Bild 10/7, wird ein ebenfalls aus vier Flip-Flops bestehender BCD-Zähler vorgestellt, der im sog. AIKEN- oder 2-4-2-1-Code zählt. D. h., bei diesem Zähler sind den vier Flip-Flops die Stellenwerte 2-4-2-1 (von FF4 nach FF1 hin gerechnet) zugeordnet. Das Flip-Flop FF4 besitzt hier also im Unterschied zu einem Zähler mit 8-4-2-1-Codierung nur den Stellenwert 2 und nicht 8! Der BCD-Zähler mit AIKEN-Codierung zählt von 0 bis 4 wie ein gewöhnlicher Dualzähler (s. Bild 10/7b). Nach dem 4. Zähltakt jedoch werden die möglichen Signalzustände OLOL, OLLO, OLLL, LOOO, LOOL und LOLO übersprungen, die ein gewöhnlicher Dualzähler beim Weiterzählen von 5 bis 10 durchlaufen würde.

Beim AIKEN-Zähler wird vielmehr mit dem 5. Zähltakt der Signalzustand LOLL eingestellt, der dem Zählerinhalt 11 eines gewöhnlichen Dualzählers entspricht. Beim Weiterzählen von 6 bis 9 durchläuft der AIKEN-Zähler die Signalzustände LLOO, LLOL, LLLO und LLLL, die den Dualzahlen für 12, 13, 14 und 15 entsprechen.

Mit dem 10. Zähltakt wird der Signalzustand OOOO eingestellt.

Der beim AIKEN-Zähler bemerkenswerte Sprung vom Signalzustand OLOO (Zählerinhalt 4) in den Signalzustand LOLL (Zählerinhalt 5) geschieht in der Zählerschaltung nach Bild 10/7 folgendermaßen:

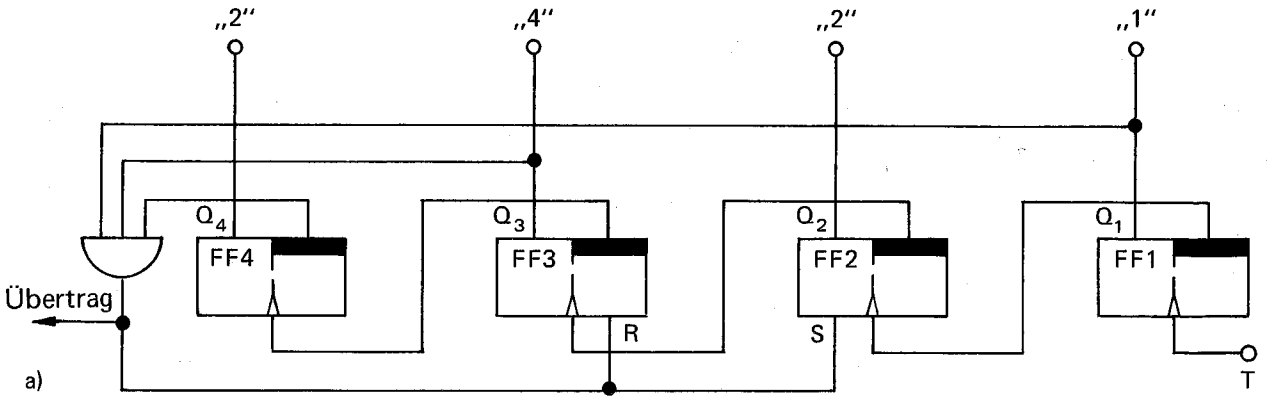
Der von außen kommende 5. Zählimpuls setzt FF1 in die Arbeitslage. Dadurch erhält auch der dritte Eingang des vorhandenen UND-Gliedes L-Signal, dessen übrige Eingänge von FF3 (Arbeitslage) bzw. FF4 (Ruhelage) schon mit L-Signal versorgt werden. Das UND-Glied sendet somit L-Signal zum Rückstelleingang des FF3 und zum Setzeingang des FF2, wodurch FF2 in die Arbeitslage und FF3 in die Ruhelage geschaltet werden. Durch das Rückstellen von FF3 wird jedoch FF4 in die Arbeitslage gesetzt, so daß der Zähler nun im ganzen den Signalzustand LOLL aufweist.

Welche Besonderheiten zeigt der AIKEN-Code?

Beim AIKEN-Code stellt die Umkehrung (Negation) eines Signalzustandes die Ergänzung, das sog. Komplement zum Signalzustand LLLL (Zählerinhalt 9) dar! Ein Beispiel: Der Zählerinhalt 3 wird durch den Signalzustand OOLL ausgedrückt. Das Komplement dazu ist LLOO (Zählerinhalt 6). Beide Signalzustände addiert ergeben LLLL (Zählerinhalt 9)!

Aus dieser Gegebenheit resultiert folgender Vorteil: Negiert man die Ausgangssignale des AIKEN-Zählers mit NICHT-Gliedern, so werden die Komplemente der Signalzustände ausgegeben, d.h. nacheinander die Signalzustände LLLL, LLLO, LLOL, LLOO usw. bis OOOO. Der Zähler ist auf einfache Weise zum Rückwärtszähler geworden!

Wie schon erwähnt, lassen sich binär codierte Dezimalzähler noch mit verschiedenen weiteren Codierungen aufbauen. Welche Codierung gewählt wird, hängt von der beabsichtigten Verwendung ab und muß von Fall zu Fall entschieden werden.



b)

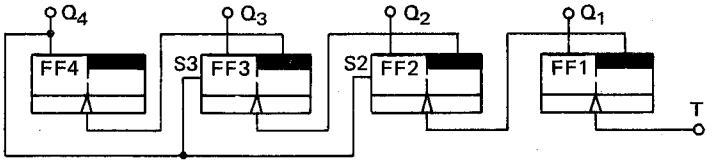
Signalzustände des AIKEN-Zählers (2–4–2–1–Code)				Zähl-
FF4	FF3	FF2	FF1	takt
0	0	0	0	0
0	0	0	L	1
0	0	L	0	2
0	0	L	L	3
0	L	0	0	4
(0)	(L)	(0)	(L)	
L	0	L	L	5
L	L	0	0	6
L	L	0	L	7
L	L	L	0	8
L	L	L	L	9
0	0	0	0	(10)

Bild 10/7. Beispiel für eine Zähldekade mit 2-4-2-1-Codierung nach *Aiken*.
a) Schaltung des BCD-Zählers.
b) Übersicht über die möglichen Signalzustände.

Anmerkung: Die hier verwendeten Zähl-Flip-Flops besitzen nach Bedarf statische Setz- und Rücksetzeingänge und Takteingänge für 0-L-Signalwechsel.

Übung 10/3 ?

Zustandsfolge in einer Zähldekade.



Anmerkung: Sämtliche J-K-Eingänge liegen ständig auf „L".

a) Was geschieht in der angegebenen Schaltung, sobald FF4 den Zustand L angenommen hat?

b) Bis zu welchem Signalzustand arbeitet die Schaltung von 0000 ausgehend wie ein gewöhnlicher asynchroner Dualzähler?

c) Wie läuft die vom Dualzähler abweichende Zustandsänderung ab?

FF4	FF3	FF2	FF1	Takt
0	0	0	0	0
0	0	0	L	1
0	0	L	0	2
0	0	L	L	3
0	L	0	0	4
				5
				6
				7
				8
				9
				10

d) Ergänzen Sie die Tabelle der Signalzustände.

Asynchrone und synchrone BCD-Zähler

Die bisher beschriebenen BCD-Zähler gehören zu den asynchronen Zählern, d.h. die einzelnen Flip-Flops einer Zählereinheit werden beim Vollzug eines Zählschrittes nicht gleichzeitig, sondern nacheinander umgeschaltet (s. Kapitel 9).

Wird ein gleichzeitiges Umschalten aller beteiligten Flip-Flops bei jedem Zählschritt verlangt, so werden synchrone Zähler verwendet, die außerdem schneller und störsicherer arbeiten.

Der im allgemeinen größere Schaltungsaufwand bei synchronen Zählern fällt in der Praxis wenig ins Gewicht, wenn die Zähler als elektronische integrierte Schaltungsbausteine ausgeführt werden, Bild 10/8.

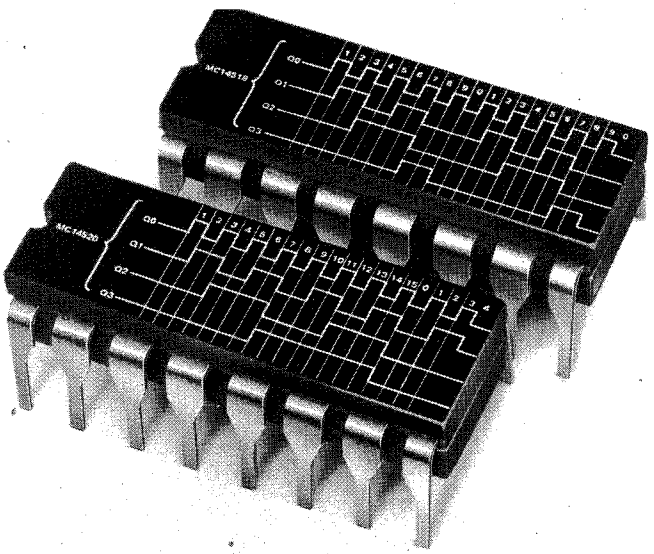


Bild 10/8. Elektronische Zähler als komplette integrierte Bausteine in genormtem Gehäuse (DIL).

Im Bild zwei Zähler mit aufgedruckten Signal-Zeit-Plänen für die Zählerausgänge (MC 14520: Dualzähler, MC 14518: BCD-Zähler).

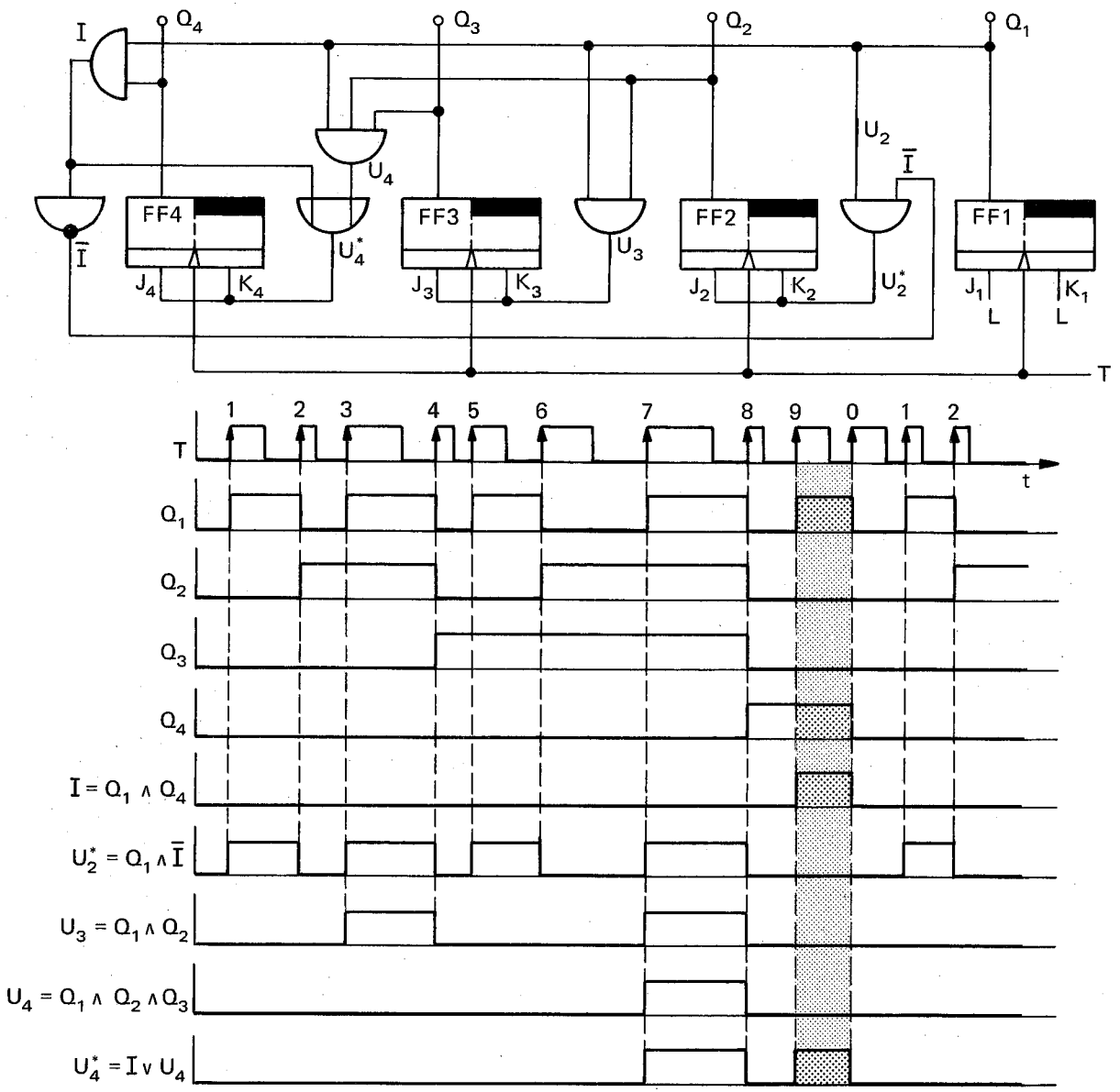


Bild 10/9. Synchrone Zähldekade (8-4-2-1-Code); Schaltung und Signal-Zeit-Plan.

In Bild 10/9 ist die Schaltung einer synchronen Zähldekade abgebildet, die im 8-4-2-1-Code zählt. Auf eine Beschreibung der Funktionsabläufe wird an dieser Stelle verzichtet, weil die Übung 10/9 am Schluß dieses Kapitels ausführlich darauf Bezug nimmt.

Vom 8-4-2-1-Code zum 1-aus-10-Code – Decodierung und Anzeige des Zählerstandes bei einem BCD-Zähler

Die Anzeige der Signalzustände eines BCD-Zählers kann technisch im einfachsten Fall binär, und zwar z.B. durch Lampen an den Zählerausgängen, erfolgen.

Da jedoch die binäre Anzeige eines Zählerinhalts i.a. schwerer zu verstehen ist als die Anzeige des Zählerinhalts im gewohnten Dezimalsystem, ist es üblich, den Binärcode des Zählers in den 1-aus-10-Code umzusetzen.

In Bild 10/10 ist eine Decodiereinrichtung schematisch dargestellt. Die Signale an den vier Ausgängen des BCD-Zählers, der hier im 8-4-2-1-Code zählt, werden in die Decodierschaltung gegeben, die vier Eingänge und 10 Ausgänge besitzt. Bei jedem der 10 Signalzustände des BCD-Zählers führt jeweils nur einer der 10 Ausgänge des Decoders L-Signal. Auch in der Mengenzähler-Schaltung nach Bild 10/4 werden solche Decodereinheiten verwendet.

Die Innenschaltung des Decoders kann aus einzelnen Verknüpfungsgliedern aufgebaut sein.

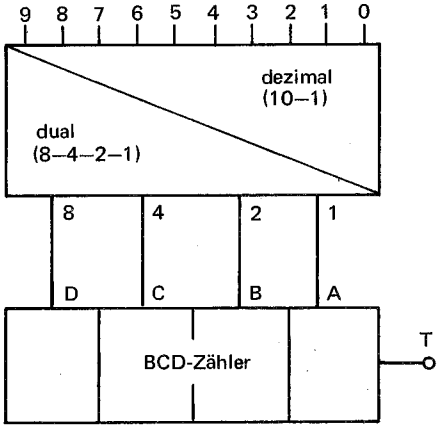


Bild 10/10. Decodierung des Zählerstandes eines BCD-Zählers aus dem 8-4-2-1-Code in den 1-aus-10-Code.

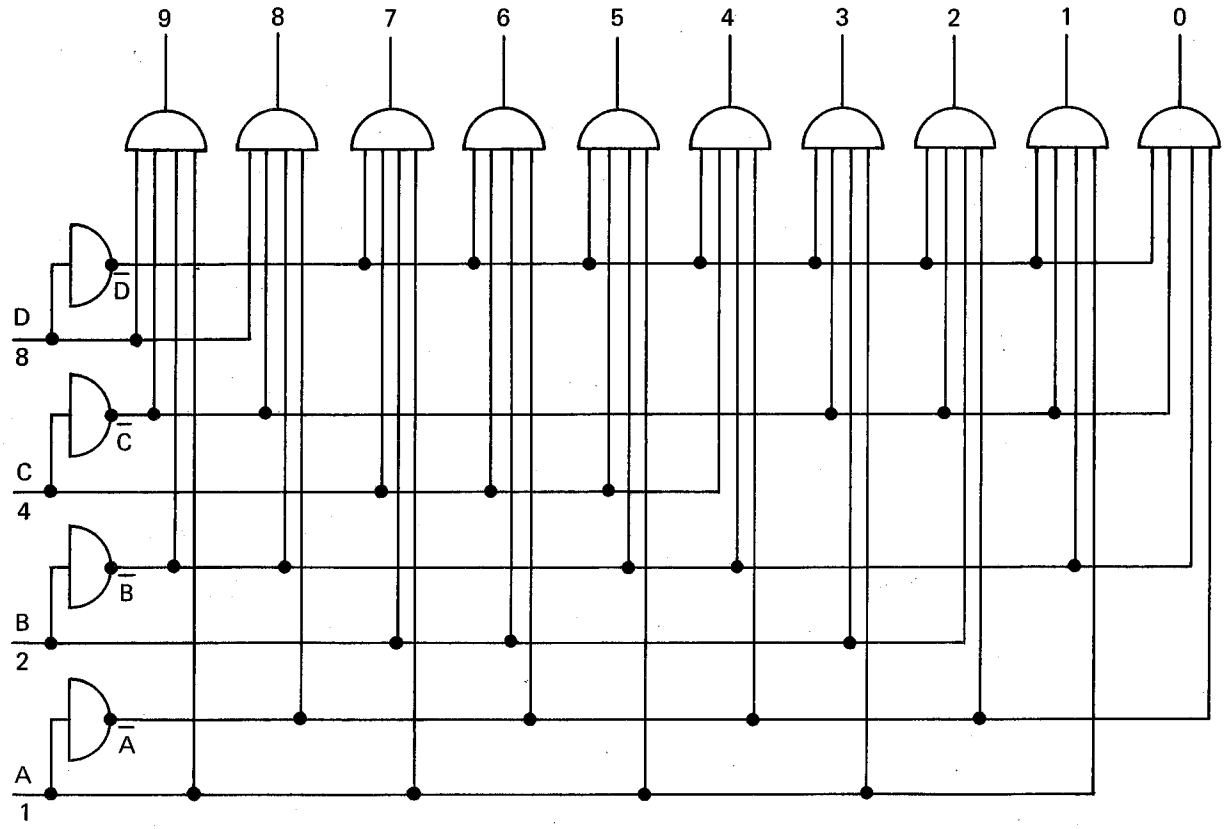


Bild 10/11. Beispiel einer Decodierschaltung mit UND-Gliedern zur Umsetzung des 8-4-2-1-Codes in den 1-aus-10-Code.

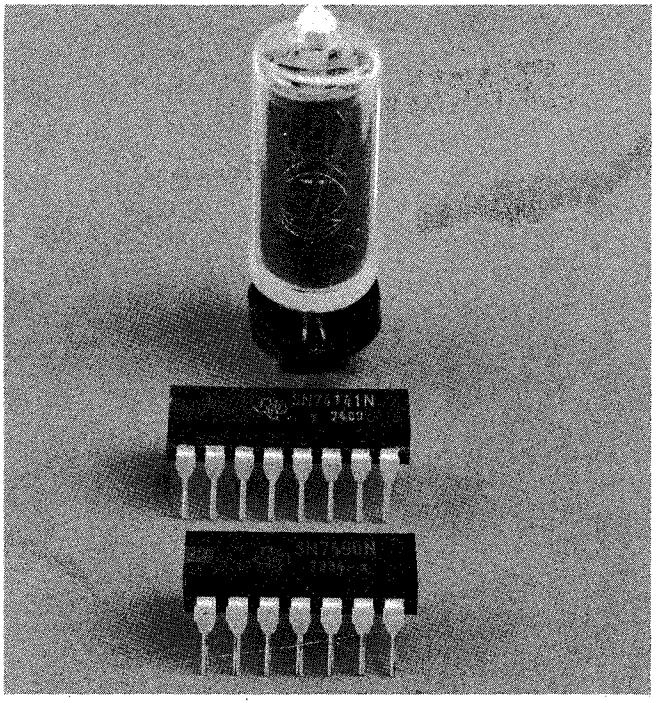
In Bild 10/11 ist das Beispiel einer Decodierschaltung abgebildet, die aus UND-Gliedern besteht.

Alle UND-Glieder besitzen vier Eingänge, weil die Gleichheit der Schaltglieder hier am wirtschaftlichsten ist (Großserienfertigung). Die Schaltung würde aber auch funktionieren, wenn 6 UND-Glieder nur drei Eingänge und 2 UND-Glieder nur 2 Eingänge besäßen (s. Übung 10/4). Eine weitere Vereinfachung der Schaltung ist möglich, wenn beim Zähler die negierten Ausgänge der Flip-Flops herausgeführt sind, was meist der Fall ist.

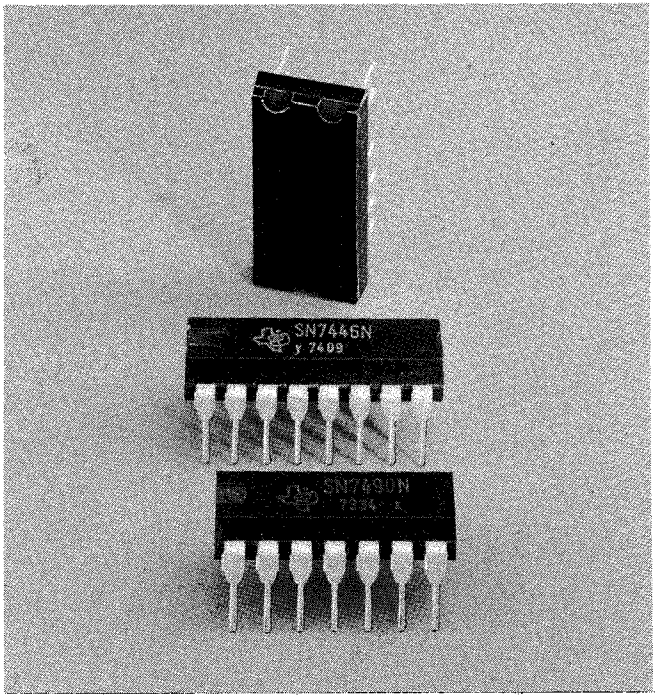
Dann können die NICHT-Glieder in der Decodierschaltung entfallen und statt dessen die vier zusätzlich entstehenden Eingänge des Decoders an die negierten Ausgänge des Zählers angeschlossen werden.

Im übrigen könnte die Decodierung auch mit NOR- oder mit NAND-Gliedern aufgebaut werden (s.a. Kapitel 5).

In elektronischen Schaltungen werden heute vorwiegend integrierte Decoder als komplette Bausteine verwendet, so daß der Anwender sich keine Gedanken über die Innenschaltung machen muß. Oft sind in den elektronischen Decodierbausteinen auch die sog. Treiberstufen mit integriert, die die technisch richtige Anpassung an die gewähl-



a) Bauteilesatz mit Ziffernröhre (Glimmlampenprinzip), bestehend aus einem integrierten BCD-Zähler, einem Decoder/Treiber-Baustein und der Ziffernröhre.



b) Bauteilesatz mit Sieben-Segment-Ziffernelement (Leuchtdiodenprinzip), bestehend aus einem integrierten BCD-Zähler, einem Decoder/Treiber-Baustein und der LED-Anzeigeeinheit (LED = Light Emitting Diodes; Leuchtdioden).

Bild 10/12. Gebräuchliche Anzeigeeinheiten für Dezimalziffern.

te Anzeigeeinrichtung gewährleisten. Bild 10/12a zeigt z.B. einen Satz gebräuchlicher elektronischer integrierter Bausteine (BCD-Zähler, Decoder/Treiber, Ziffern-Anzeigeröhre) zur Anzeige eines Zählerstandes mit einer Ziffernröhre. Für jede der zehn Ziffern besitzt die Röhre einen Anschluß und der Decoder/Treiber-Baustein einen entsprechenden Ausgang.

Als weiteres Ausführungsbeispiel ist in Bild 10/12b eine moderne Sieben-Segment-Anzeige zu sehen; alle 10 Ziffern werden durch entsprechende Kombinationen von sieben Leuchtbalken dargestellt. Der Decoder/Treiber-Baustein ist der Anzeigeeinheit sowohl logisch als auch technisch angepaßt.

Übung 10/4 ?

Vereinfachung der Decodierschaltung in Bild 10/11.

a) Überprüfen Sie, für welche der Signalzustände 0000 ≙ 0 bis L00L ≙ 9 einer 8-4-2-1-Code-Zähldekade die Funktion $F_2 = \overline{C} \wedge B \wedge \overline{A}$ den Wert L hat.

b) Wie würde sich die Funktionsweise der Decodierschaltung für den 8-4-2-1-Code in Bild 10/11 ändern, wenn man das UND-Glied $\overline{D} \wedge \overline{C} \wedge B \wedge \overline{A}$ für 2 durch ein solches mit drei Eingängen $\overline{C} \wedge B \wedge \overline{A}$ ersetzen würde? Welche Vereinfachungsmöglichkeit ergibt sich?

c) Für die Ausgänge 8 und 9 gibt es noch weitergehende Vereinfachungen. Welche?

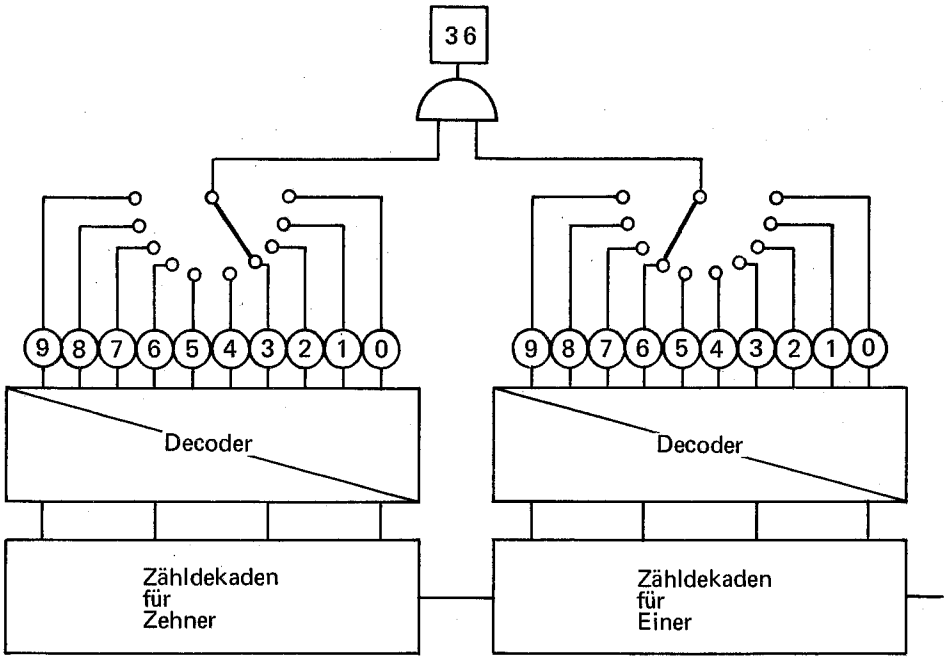


Bild 10/13. Einrichtung zur Vorwahl der Signalabgabe bei einem bestimmten Zählerstand.

Vorwahl der Signalabgabe bei einem bestimmten Zählerstand

Bei der als Anwendungsbeispiel vorgestellten Mengenzähleinrichtung, Bild 10/4, besteht die Aufgabe, den Zählvorgang bei Erreichen einer bestimmten Stückzahl zu beenden. Das Signal hierfür muß aus dem zweistelligen Dezimalzähler der Anlage herausgelesen werden. Das ist schaltungsmäßig recht einfach durch ein UND-Glied zu realisieren, Bild 10/13.

Die Eingänge des UND-Gliedes werden über Schalter mit jenen dezimalen Ausgängen der Zähleinrichtung verbunden, die den gewünschten Zählerstand signalisieren. Im Beispiel von Bild 10/13 sind der Ausgang 6 im Zähler für die „Einer" und der Ausgang 3 im Zähler für die „Zehner" belegt. Das UND-Glied gibt somit an seinem Ausgang L-Signal ab, wenn der Zählerstand „36" erreicht ist.

Mit mechanischen Vorwahlschaltern lassen sich bei dem zweistelligen Zähler beliebige Zahlen zwischen 00 und 99 vorwählen. Bild 10/14 zeigt praktische Ausführungsbeispiele von Vorwahlschaltern für raumsparenden Einbau.

Mit mechanischen Schaltern ist in Verbindung mit der Vorwahl der Meldung eines bestimmten Zählerstandes gleichzeitig auch die Decodierung des Zählerstandes aus einem BCD-Code in den 1-aus-10-Code möglich. Eine besondere Decodierschaltung kann entfallen, wenn auf eine gleichzeitige optische Anzeige aller anderen Zählerzustände verzichtet wird.

Bild 10/15 zeigt den Anschlußplan für einen Vorwahlschaltersatz, der für einen BCD-Zähler mit 8-4-2-1-Codierung gedacht ist. Die negierten Ausgänge der Zähl-Flip-Flops werden mit angeschlossen. Sollten sie nicht zugänglich sein, können die $\bar{Q}$-Eingänge der Vorwahlschalter über NICHT-Glieder an die Q-Eingänge mit angeschlossen werden.

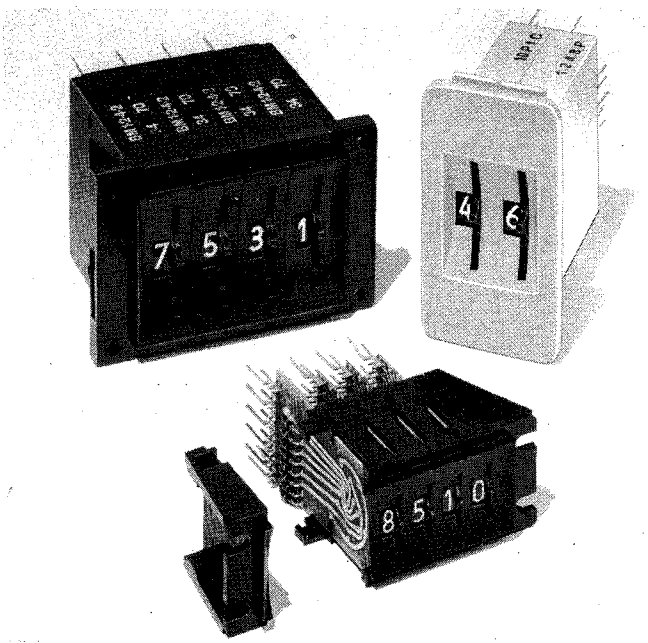


Bild 10/14. Beispiele von Vorwahlschaltern, die sich nach dem Baukastenprinzip zu Schaltersätzen zusammenfügen lassen.

Die vier Schaltarme des zehnstufigen Schalters werden gleichzeitig bewegt, wenn umgeschaltet wird; sie sind mechanisch miteinander verbunden.

Bei der Vorwahl des Zählerinhalts „6" (Signalzustand OLLO) wird z.B. die UND-Bedingung für das Verknüpfungsglied (an allen Eingängen L-Signal) erreicht, wenn der Schaltarm für FF4 mit dessen $\bar{Q}$-Ausgang, der Schaltarm für FF3 und der Schaltarm für FF2 mit deren Q-Ausgängen und der Schaltarm für FF1 mit dessen $\bar{Q}$-Ausgang verbunden ist.

Zum Vorwählen der Zahl „7" werden die Schaltarme des Vorwahlschalters so umgeschaltet, daß sie ebenfalls wieder alle UND-Glied-Eingänge mit L-Signal versorgen, wenn der Zählerinhalt „7" (Signalzustand OLLL) erreicht wird. Der Schaltarm für FF4 muß hierbei mit dessen $\bar{Q}$-Ausgang verbunden sein, die anderen Schaltarme müssen in diesem Fall mit den Q-Ausgängen der zugehörigen Flip-Flops verbunden sein.

Das entsprechende auf den 8-4-2-1-Code ausgerichtete Beschaltungsprinzip gilt auch für die übrigen möglichen Einstellungen des Vorwahlschalters.

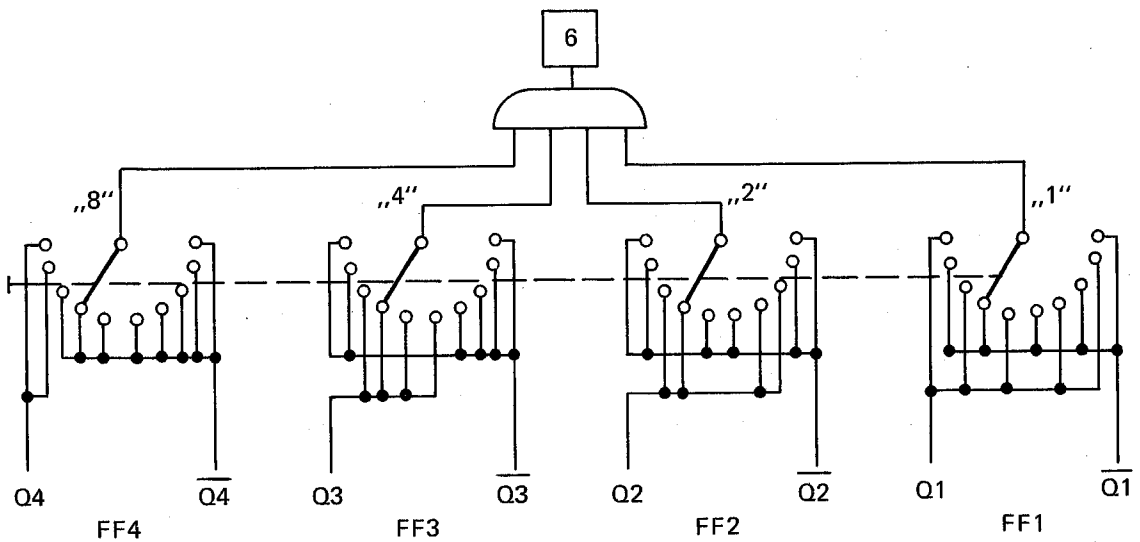


Bild 10/15. Schaltung zur Vorwahl und Decodierung für einen im 8-4-2-1-Code zählenden BCD-Zähler mit einem vierstelligen Vorwahlschalter.

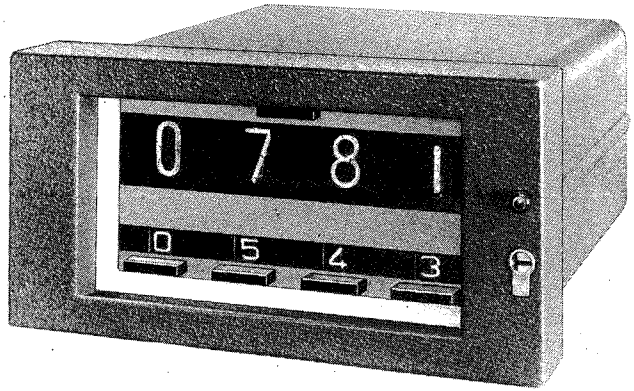


Bild 10/16. Vierstelliger Vorwahlzähler mit Ziffernanzeigeröhren und Vorwahlschaltern (Druckknopf-Weiterschaltung) in Kompaktausführung zum Einbau in industriellen Anlagen.

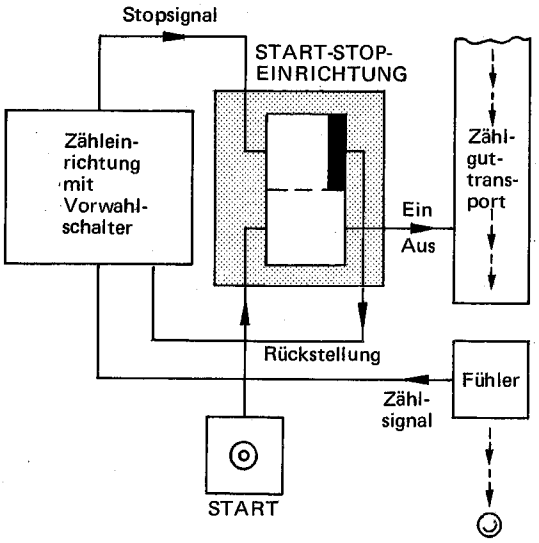


Bild 10/17. Start/Stop-Einrichtung für einen Mengenzähler.

Starten, Stoppen und Rückstellen eines Zählers

Wenn mit einer Zähleinrichtung eine bestimmte vorgewählte Menge abgezählt werden soll, muß der Zähler vor Beginn des Zählvorganges auf Null gestellt sein.

Jedes Zähl-Flip-Flop besitzt dafür in der Regel einen statischen Rückstelleingang, über den es durch ein L-Signal in den Signalzustand Null gesetzt wird. (Bei den Zählerschaltungen in den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit die Rückstellmöglichkeit nicht gezeichnet.)

Auch der im eingangs angeführten Beispiel einer Mengenzählung verwendete zweistellige Dezimalzähler (Bild 10/4) wird vor jedem neuen Zählzyklus insgesamt auf Null gestellt, indem jedes einzelne Flip-Flop in die Ruhelage versetzt wird.

Das Abzählen einer vorgewählten Stückzahl beginnt, wenn die Starttaste betätigt wird. Ein Flip-Flop speichert das Startsignal und gibt es weiter zum Antrieb einer Transporteinrichtung für das Zählgut. In Bild 10/17 ist dieser Signalverlauf in einem Blockschema dargestellt.

Die zu zählenden Teile passieren einzeln einen Fühler (z.B. einen Lichtvorhang, einen Näherungsfühler oder einen mechanischen Kontakt), der die Zählimpulse auf den Zähler überträgt.

Ist eine vorgewählte Stückzahl erreicht, wird über die Vorwahldecodierung das Speicher-Flip-Flop zurückgesetzt. Der Zählgutfluß wird sofort gestoppt.

Gleichzeitig mit dem Rücksetzen des Flip-Flops wird bei dieser Einrichtung das Rückstellsignal für den Zähler gegeben. Er ist damit für einen neuen Zählvorgang vorbereitet.

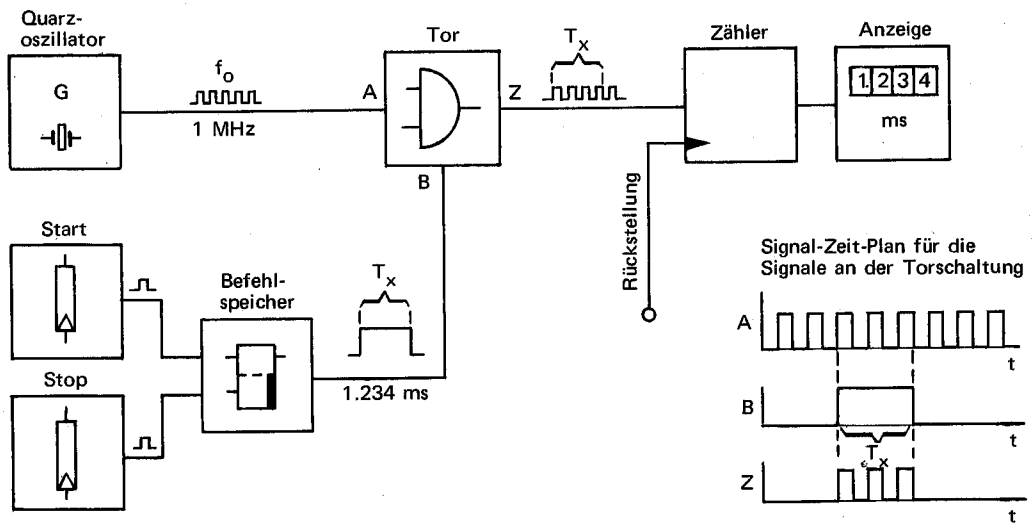


Bild 10/18. Prinzip eines digitalen Kurzzeitmessers.

Kurzzeitmessung mit dem Digitalzähler

In der Meßtechnik greift man immer häufiger auf digitale Verfahren zurück, weil mehrere Gründe dafür sprechen:

Digital angezeigte Meßergebnisse sind leicht und sicher ablesbar; Irrtümer sind seltener als bei analoger Anzeige. Meßergebnisse in digitaler Darstellung lassen sich auf einfache Weise weiter auswerten, z.B. in Druckern oder Rechnern. Außerdem kann die Genauigkeit digitaler Meßgeräte bei praktisch durchaus vertretbarem Aufwand äußerst hoch sein.

Bei fast allen digitalen Meßverfahren werden elektronische Binärzähler verwendet.

So auch beim präzisen Messen kurzer Zeiten und zur Geschwindigkeitsmessung z.B. von Geschossen, Explosionsdruckwellen, Versuchsfahrzeugen, Flugkörpern, Kontaktbewegungen bei Relais und Rotationsgeschwindigkeiten.

In Bild 10/18 ist das Schaltschema eines digitalen Kurzzeitmessers skizziert. Das Meßprinzip ist recht einfach: Mit dem Beginn der zu messenden Zeitspanne wird eine konstante Taktimpulsfrequenz auf einen Zähler geleitet. Am Ende der Meßzeit wird der Zählereingang wieder gesperrt. Die vom Zähler gezählte Anzahl der Takte ist ein Maß für die abgelaufene Zeit.

Das Startsignal zur Messung kann z.B. von einer Lichtschranke kommen. Es bleibt während der Meßzeit gespeichert und öffnet eine Torschaltung, durch die während der Meßzeit die Taktimpulse vom genauen Quarzoszillator auf den Zähler gelangen. Von einer zweiten Lichtschranke kann das Stopsignal kommen, das den Befehlsspeicher zurücksetzt, wodurch das Tor gesperrt und der Zähler stillgesetzt wird, da keine Zählimpulse mehr zu ihm gelangen.

Vor der nächsten Messung muß der Zähler auf Null zurückgestellt werden.

Die Genauigkeit einer Messung hängt einerseits von der Genauigkeit und Höhe der Taktfrequenz und andererseits vom präzisen Auftreten des Start- und des Stop-Signals ab, weil dadurch die Anzahl der während der Meßzeit gezählten Takte bestimmt wird.

Als Taktfrequenzerzeuger werden deshalb Quarzoszillatoren verwendet, deren Frequenzkonstanz bei 10^{-6} bis 10^{-10}/°C liegen kann. Dies bedeutet z.B., eine Frequenz von 1 GHz erfährt bei einer Frequenzkonstanz von 10^{-9}/°C nur eine Änderung um 1 Hz (also ein Milliardstel), wenn die Quarztemperatur um 1°C verändert wird!

Um den Einfluß von Temperaturschwankungen weitgehend auszuschalten, werden Oszillatorquarze oft in temperaturgeregelten Kapseln betrieben.

Die Auflösung des Meßergebnisses und damit auch die Genauigkeit ist um so größer, je höher die Taktfrequenz ist.

Ein Beispiel: Eine zu messende Kurzzeit beträgt 1,234 ms. Der Taktgenerator erzeugt eine Taktfrequenz von genau 1 MHz, d.h. ein Takt dauert 1 µs.

Während der Meßzeit von 1,234 ms = 1234 µs werden also 1234 Takte gezählt und das Meßergebnis in Mikrosekunden angezeigt.

Wird aber zum Messen der gleichen Zeitspanne von 1,234 ms eine Taktfrequenz von nur 100 kHz verwendet, so dauert ein Takt 10 µs. Während der Meßzeit gelangen vom 100 kHz-Oszillator 123 Taktimpulse auf den Zähler.

Als Meßergebnis wird eine Zeit von 1,23 ms angezeigt. Diese Anzeige ist somit um eine Stelle weniger genau als die Anzeige bei Verwendung der 1 MHz-Taktfrequenz. Im vorliegenden Fall werden 4 µs zu wenig angezeigt.

Ein weiterer Zähltakt, der das Meßergebnis auf den Wert 1,24 ms bringen würde, gelangt nicht mehr durch die Torschaltung, da diese 1,23 ms + 4 µs nach dem Auftreten des Startsignals durch ein Stopsignal vom Befehlsgeber der Meßeinrichtung gesperrt wurde.

Das Meßergebnis würde noch ungenauer, wenn zur Messung der Kurzzeit von 1,234 ms nur eine Taktfrequenz von 10 kHz verwendet würde. Bei dieser relativ niedrigen Frequenz dauert ein Takt 100 µs = 0,1 ms. Während der Meßzeit von 1,234 ms würden nur noch 12 Takte gezählt, also 12 x 0,1 ms = 1,2 ms angezeigt. Dies bedeutet eine Abweichung um 34 µs vom tatsächlichen Wert, der gemessen werden sollte.

Wie das Beispiel zeigt, muß bei einer Kurzzeitmessung mit hohen Frequenzen gearbeitet werden, wenn genaue Meßergebnisse gewünscht werden. Es sind deshalb Zähler erforderlich, die entsprechend schnell zählen können. Nur elektronische Zähler können da mithalten.

Da die Genauigkeit der Kurzzeitmessung außerdem entscheidend davon abhängt, ob das Startsignal zum Zählen und das Stopsignal zur Beendigung des Zählvorganges möglichst unverzögert auftreten, sind zum Erfassen und Weitergeben dieser Signale nur elektronische Einrichtungen denkbar, die nahezu trägheitslos arbeiten können.

Übung 10/5 ?

Kurzzeitmessung mit einem Digitalzähler.

Ein Kurzzeitmesser besitzt einen Quarzoszillator mit einer Taktfrequenz von 10 MHz. Bei der Messung der Einschaltzeit eines Relais werden 48 236 Taktimpulse gezählt. Welche Zeit in Millisekunden wird angezeigt?

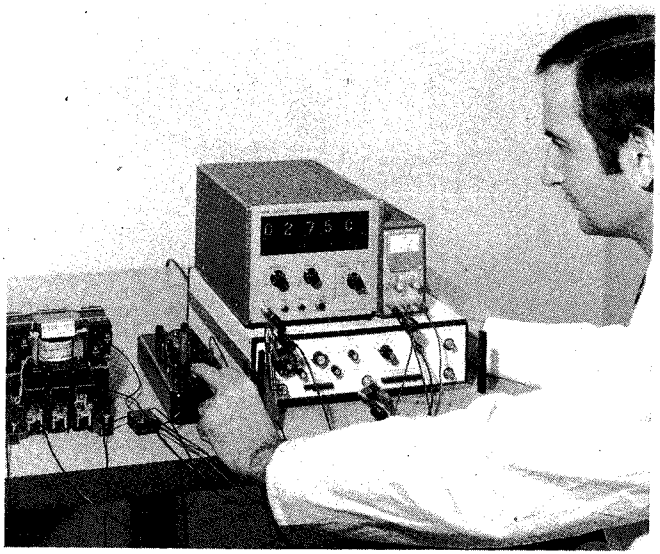


Bild 10/19. Schaltzeitmessung bei einem elektromechanischen Schütz mit elektronischem Zähler.

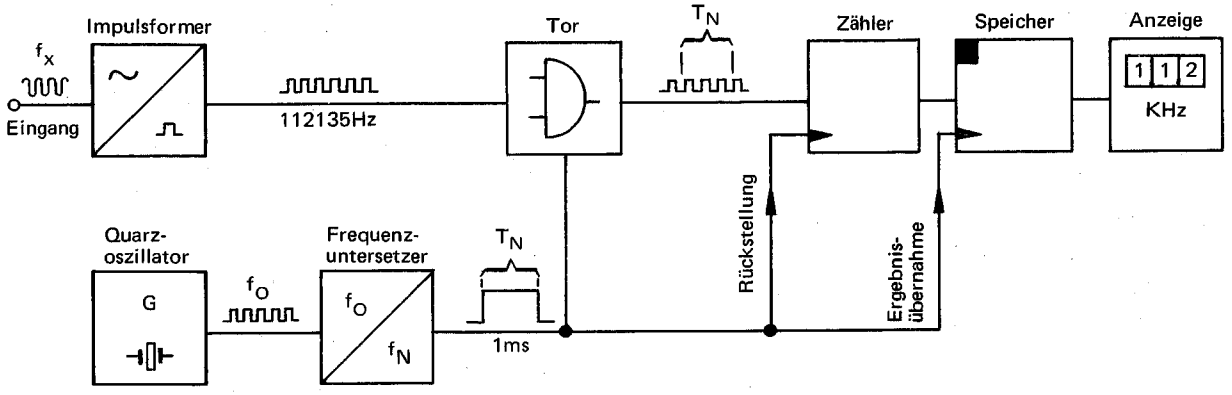


Bild 10/20. Prinzip eines digitalen Frequenzmessers.

Frequenzmessung mit dem Digitalzähler

Bei einem periodisch wiederkehrenden Ereignis bezeichnet man die Anzahl der Perioden je Zeiteinheit als Frequenz.

Wenn zum Beispiel ein Taktgeber in regelmäßiger Folge 1000 Takte pro Sekunde erzeugt, so entspricht dies einer Frequenz von 1000 Hz.

Das Messen einer Frequenz kann demnach als ein Abzählen der Perioden- oder Taktzahl während einer vorgegebenen Zeiteinheit durchgeführt werden.

Bild 10/20 zeigt das Schema eines digitalen Frequenzmessers. Die Meßfrequenz wird in der Meßschaltung zuerst einem Impulsformer zugeführt, der beliebige Schwingungszüge in Rechteckimpulse umformt, da Digitalzähler meist nur auf Impulse mit großer Flankensteilheit (exakte O-L-Signalwechsel) ansprechen.

Die genaue Meßzeit, während der die Anzahl der Perioden eines sich dauernd wiederholenden Ereignisses gezählt werden soll, um daraus die Frequenz zu bestimmen, wird wie bei der Kurzzeitmessung durch einen mit großer Genauigkeit schwingenden Quarzoszillator erzeugt. Und zwar wird die hohe Frequenz des Schwingquarzes durch einen Frequenzuntersetzer (s.a. Kapitel 6), der selbst nichts anderes ist als ein binär arbeitender Zähler, auf eine niedrige Taktfrequenz hoher Genauigkeit herabgesetzt.

Während eines Meßzeit-Intervalls wird die unbekannte noch zu messende Frequenz durch eine Torschaltung auf den Zähler geführt. Die gezählten Impulse, bezogen auf die Meßzeit, sind ein Maß für die Frequenz.

Da die Messung in der Regel in kurzen Zeitabständen wiederholt wird, um Frequenzänderungen festzustellen, muß der Zählerstand vor bzw. mit Beginn einer jeden neuen Messung auf Null zurückgestellt worden sein, sonst würden die Zählergebnisse aufaddiert. Damit eine flimmerfreie Anzeige gewährleistet ist, ist zwischen Zähler und Anzeigeeinheit ein Speicher für den jeweils letzten Zählerstand zwischengeschaltet. Die gespeicherte Anzeige wird mit dem Beginn eines weiteren Meßintervalls gelöscht und durch den neu gemessenen Zahlenwert ersetzt.

Beim Frequenzmesser ist die Genauigkeit vor allem von der genauen Zeitdauer des einzelnen Meßintervalls abhängig, weshalb ein Quarzoszillator zur Meßzeiterzeugung verwendet wird.

Außerdem spielt die Dauer eines Meßzeitintervalls für die Auflösung des Meßergebnisses eine wichtige Rolle.

Ein Zahlenbeispiel hierzu:

Wenn die zu messende Frequenz f_x = 112,135 kHz beträgt, werden bei einer Meßzeit von genau 1 s 112135 Perioden gezählt. Die Meßfrequenz wird also auf 1 Hz genau bestimmt.

Wenn hingegen für die gleiche Frequenz eine Meßzeitdauer von 1 ms eingestellt ist, wird der Zähler während eines Meßtaktes nur 112 Perioden zählen können. Diese Zahl muß als Kilohertz-Anzeige 112 kHz gelesen werden. Das Meßergebnis erscheint also nur mit Kilohertz-Genauigkeit.

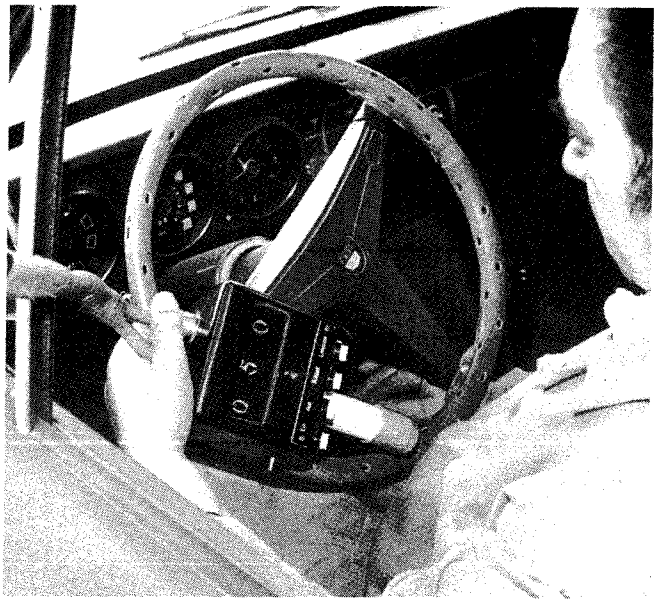


Bild 10/21. Kontrolle der Anzeigegenauigkeit eines PKW-Tachometers mit Hilfe einer digital-elektronischen Drehzahlmeßeinrichtung auf einem Prüfstand.

Drehzahlmessung mit dem Digitalzähler

Frequenzmesser können ohne weiteres auch zum genauen Messen der Drehzahl eingesetzt werden, denn die Drehzahl ist die Anzahl der Umdrehungen eines Gegenstandes bezogen auf eine bestimmte Zeiteinheit, s.a. Bild 10/21. Wenn je Umdrehung ein Impuls aufgenommen wird und ein Meßintervall 1 s beträgt, wird vom Frequenzmesser die Drehzahl in Umdrehungen je Sekunde angezeigt.

Wird an das rotierende Teil ein Drehzahlgeber montiert, der 60 Impulse je Umdrehung abgibt, so wird die Drehzahl in Umdrehungen je Minute angezeigt! In diesem Fall nämlich werden während einer Umdrehung, die in einer Sekunde vollzogen wird, so viele Impulse gezählt wie im ersten Fall während einer Minute.

Da die Angabe der Drehzahl in der Praxis üblicherweise auf die Zeiteinheit „Minute" bezogen wird, ist also die Verwendung eines Impulsgebers, der 60 Impulse je Sekunde abgibt, am zweckmäßigsten.

Aber auch wenn die Impulszahl pro Umdrehung aus technischen Gründen schon vorgegeben ist (z.B. vier Impulse je Umdrehung bei einem Motor eines Automobils), kann die Drehzahlanzeige in Umdrehungen je Sekunde erfolgen. Es muß nur die entsprechende Meßzeit gewählt werden.

Bei 4 Impulsen je Umdrehung und bei einer Drehzahl von beispielsweise 3000 je Minute würden in einer Minute 12 000 Impulse und in einer Sekunde 200 Impulse gezählt.

Damit 300 Impulse gezählt werden, müßte eine Meßtaktzeit von 1,5 s eingestellt werden.

Diese Meßtaktzeit wäre praktikabel: Denn die Ziffernanzeige 300 kann als Drehzahl „300 x 10 UpM" gewertet werden.

Die erzielte Genauigkeit ist in diesem Anwendungsfall ausreichend.

Übung 10/6

Drehzahlmessung bei einem Wankelmotor

Ein Wankelmotor benötigt für jeden Verbrennungsraum (Zylinder) für eine volle Umdrehung der Welle drei Zündungen. Die Umdrehungszahl (je Minute) eines solchen Motors mit vier Verbrennungsräumen soll durch Zählung der Zündimpulse gemessen werden.

a) Wieviel Zündimpulse werden je Umdrehung erzeugt?

b) Wieviel Zündimpulse ergeben sich je Sekunde bei 4000 U/min?

c) Welche Meßzeit würden Sie wählen, wenn eine Sekunde nicht überschritten werden darf und das Zählergebnis einfach auf U/min umrechenbar sein soll? Welche Meßgenauigkeit ergibt sich?

Digitale Periodendauermessung

Um beim Messen von niedrigen Frequenzen mit dem digitalen Frequenzmesser eine ausreichende Auflösung der Meßwertanzeige und damit eine zufriedenstellende Genauigkeit zu erhalten, müßten lange Meßzeiten gewählt werden, was unpraktisch wäre und zusätzliche Meßunsicherheiten mit sich brächte.

Folgende Überlegungen sollen diese Problematik verdeutlichen:

Beispiel 1

Soll mit einem digitalen Frequenzmesser (z.B. nach Bild 10/20) eine Frequenz von 1 kHz gemessen und das Meßergebnis in Hz, also 1000 Hz, angezeigt werden, so muß der Zähler des Meßgerätes 1000 Perioden der Meßfrequenz 1 kHz zählen; 1000 Perioden werden bei der Frequenz 1 kHz in 1 s erzeugt. Die Meßzeit muß in diesem Fall also 1 s betragen, um die zu messende Frequenz von 1 kHz mit einer Genauigkeit von 0,001 $\triangleq$ 0,1% $\triangleq$ 1 Hz anzuzeigen. Vorausgesetzt wird, daß die Meßzeit vom Meßintervallerzeuger sehr genau angegeben wird.

Beispiel 2

Sollte jedoch eine Frequenz von 1 Hz ebenfalls mit einer Genauigkeit von 0,001 = 0,1% $\triangleq$ 0,001 Hz angezeigt werden, so müßte die Anzeige des Meßergebnisses in Millihertz (mHz) erfolgen, also 1000 mHz oder 1,000 Hz lauten.

Um diese Zählereinstellung zu erhalten, müßten 1000 Perioden der Frequenz 1 Hz gezählt werden. Das aber wäre nur in einer Meßzeit von $1000 \cdot 1\ s = 1000\ s = 16{,}6\overline{6}$ min möglich!

Diese lange Meßzeit ist ungünstig, zumal sich während eines so langen Meßintervalls eher Meßabweichungen durch Schwankungen der Meßgröße ergeben können.

Man beschreitet bei einer solchen Aufgabenstellung besser den Weg der Periodendauermessung, die einer Kurzzeitmessung gleichkommt!

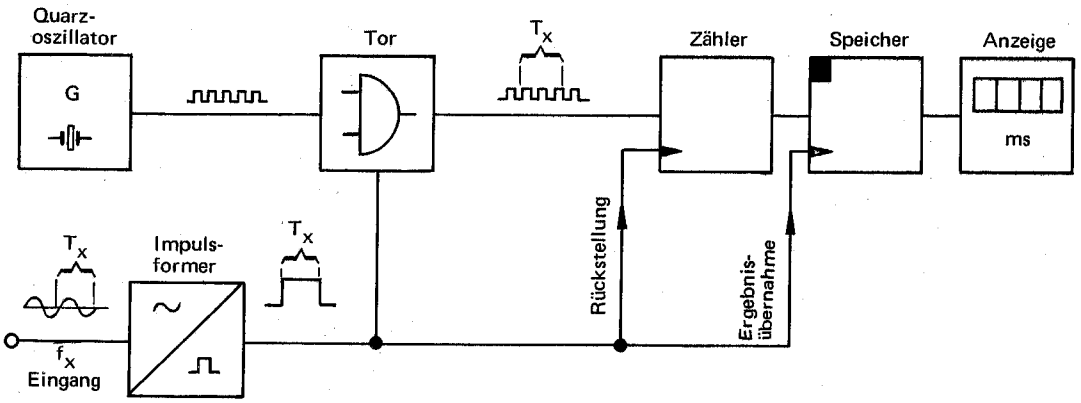


Bild 10/22. Prinzip einer Periodendauermessung.

In Bild 10/22 ist das Schema eines Periodendauermessers angegeben:

Ein Quarzoszillator liefert eine genaue Impulsfrequenz, die während einer zu messenden Periodendauer T_x über eine Torschaltung auf einen Zähler geführt wird.

Die Öffnungszeit der Torschaltung wird durch die zu messende Periodendauer bestimmt. Je größer diese Periodendauer ist, desto größer ist die Anzahl der gezählten Impulse.

Da die Messung bei jeder Periode erneut vorgenommen wird, muß der Zähler jedesmal zurückgestellt werden. Das bisherige Meßergebnis bleibt in einem Speicher, bis es am Ende eines Meßintervalls gelöscht und durch das neue Meßergebnis ersetzt wird.

Ein besonderes Anwendungsbeispiel zur Periodendauermessung mit dem Digitalzähler aus der Forschung zeigt Bild 10/23a und b.

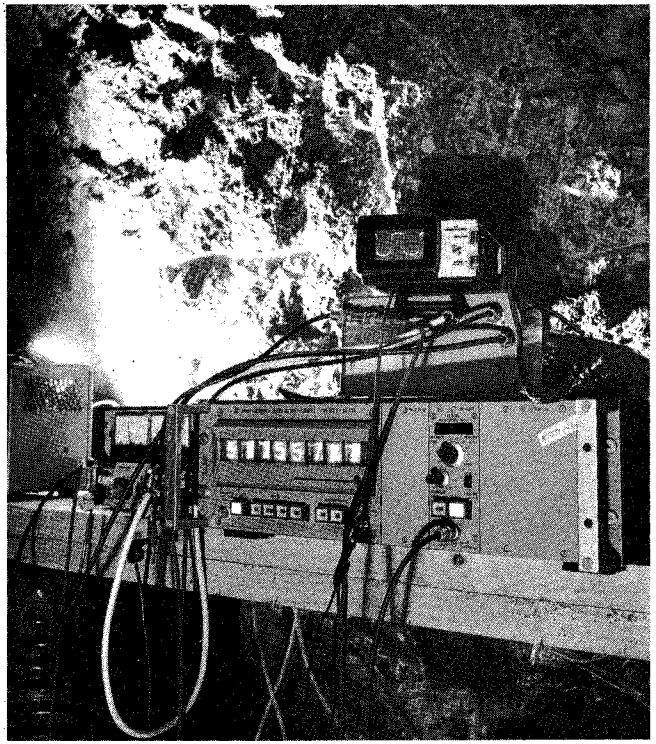
Um z.B. die Erdgestalt genau zu vermessen oder um Bodenschätze aufzusuchen, werden Schwerkraftmessungen durchgeführt. Bekanntlich ist die Erdanziehungskraft bzw. die Erdbeschleunigung auf einen Körper nicht überall auf der Erdoberfläche gleich groß.

Das Messen der Erdbeschleunigung g kann mit Hilfe eines mechanischen Pendels durchgeführt werden. Denn nach dem Pendelgesetz ist die Periodendauer eines Pendels von der Erdbeschleunigung g abhängig ($T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ bzw. $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$; T Periodendauer, l Pendellänge, g Erdbeschleunigung). D.h. wenn die Periodendauer eines bestimmten Pendels z.B. kleiner wird, so muß sich die Erdbeschleunigung bzw. Erdanziehungskraft bei sonst gleichgebliebenen Bedingungen vergrößert haben. Die Periodendauer des hier im angeführten Beispiel verwendeten Meßpendels beträgt etwa eine halbe Sekunde.

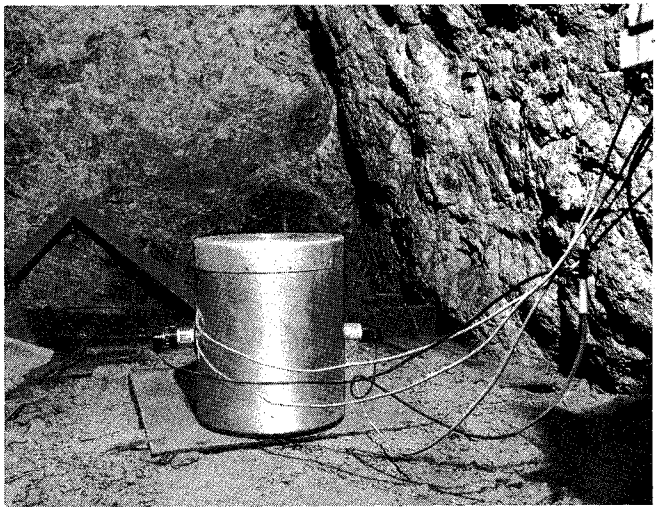
Sie muß mit Hilfe eines elektronischen Zählers (Quarzgenauigkeitsklasse 10^{-9}) mindestens auf die Milliardstelsekunde genau bestimmt werden, um brauchbare Meßergebnisse zu erhalten.

Die Messungen werden mehrfach wiederholt und aus den ermittelten Werten wird ein Mittelwert errechnet, um zufällige Abweichungen zu eliminieren.

Umweltbedingte Störungen bei der Messung umgeht man z.B. dadurch, daß man als Meßort einen stillgelegten Bergwerksstollen benutzt.



a) Meßaufbau mit elektronischen Zähler



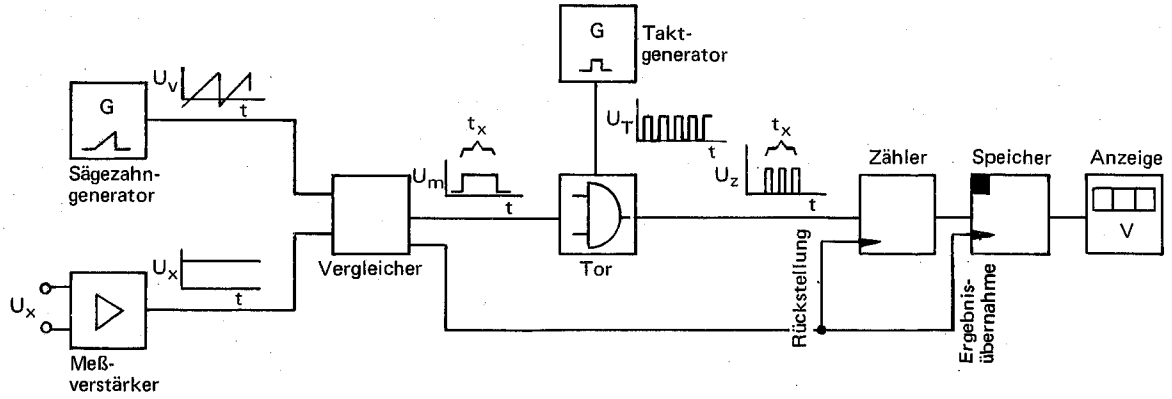
b) Pendelapparat mit Wärmeschutzmantel

Bild 10/23. Schwerkraftmessung mittels Periodendauermessung bei einem Pendel.

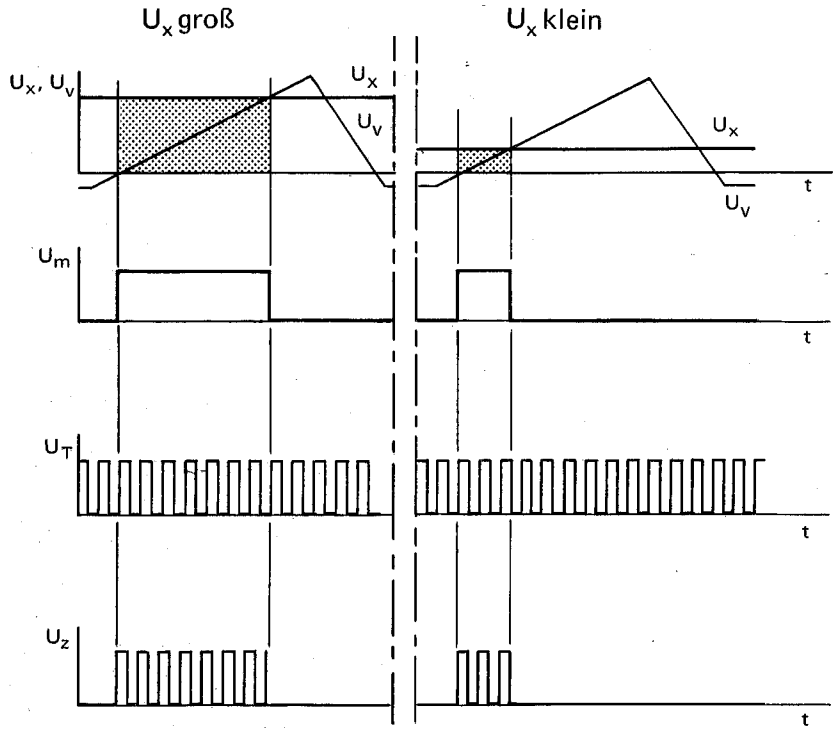
Übung 10/7 ?

Genauigkeit einer Periodendauermessung.

Der Zähler eines Periodendauermessers besitzt 9 Stellen. Die höchste einstellbare Oszillatorfrequenz ist 1 GHz (= 10^9 Hz = 1 000 000 000 Hz). Wie groß ist die längste Periodendauer, die man noch auf eine Mikrosekunde genau messen kann? Welcher Frequenz in Hz entspricht das?



a) Blockschaltbild



b) Spannungs-Zeit-Diagramme der einzelnen Spannungen für zwei verschiedene Meßintervalle mit größerer und kleinerer Meßspannung U_x.

Bild 10/24. Prinzip eines Analog-Digital-Umsetzers nach dem „Sägezahn"-Vergleichsverfahren; hier angeführt als digitaler Spannungsmesser.

Digitalzähler im Analog-Digital-Umsetzer

Nicht nur Stückzahlen, Zeiten, Frequenzen und Drehzahlen sind digital erfaßbar. Auch beim Messen beliebiger anderer Größen wie Spannung, Stromstärke, Temperatur, Druck, Weg, Beschleunigung, Kraft, Winkel und Helligkeit können die Vorteile der Digitaltechnik genutzt werden.

Die in analoger Form auftretenden Meßgrößen müssen dazu in die digitale Form umgewandelt werden.

Dies geschieht mit Hilfe von Analog-Digital-Umsetzern, die Digitalzähler als wichtige Funktionsgruppen enthalten.

Es gibt verschiedene Prinzipien der Analog-Digital-Umsetzung, die je nach Art der Meßaufgabenstellung besondere Vorzüge z.B. im Hinblick auf Meßgenauigkeit, Schnelligkeit und Fehlersicherheit aufweisen.

Hier soll aber exemplarisch nur auf ein leicht zu verstehendes Verfahren, auf das Verfahren der Spannung-Zeit-Verschlüsselung, kurz auch „Sägezahn"-Verfahren genannt, eingegangen werden.

Bild 10/24a zeigt das Schema eines Analog-Digital-Umsetzers nach dem Sägezahnverfahren:

Als analoge Eingangsgröße liegt, so wird angenommen, eine Spannung vor. Die zu messende Spannung wird einem Vergleicher zugeführt, ebenso eine von Null mit gleichbleibender Geschwindigkeit (sägezahnartig!) ansteigende Vergleichsspannung. Mit Beginn des Anstiegs der Sägezahnspannung wird eine Torschaltung geöffnet. Sie läßt Taktimpulse von einem Generator auf den Zähler.

Wenn die Sägezahn-Vergleichsspannung U_V so groß wie die unbekannte Spannung U_x geworden ist, schließt die Vergleicherschaltung das Tor wieder. Der Zähler hat eine bestimmte Anzahl von Impulsen registriert; sie sind ein Maß für die gemessene Spannung, Bild 10/24b.

Wenn die unbekannte Spannung groß ist, wird eine längere Zeit vergehen, bis die Sägezahn-Vergleichsspannung so groß wie die unbekannte Spannung geworden ist; wenn die unbekannte Spannung klein ist, erreicht die Sägezahnspannung früher den Wert dieser Meßspannung. Dementsprechend werden bei einer größeren Meßspannung mehr Impulse gezählt und als Meßergebnis angezeigt als bei einer kleineren Spannung, Bild 10/24b. Im praktischen Betrieb werden diese Messungen periodisch wiederholt (z.B. dreimal je Sekunde).

Dazu wird der Zähler nach jeder einzelnen Messung zurückgestellt und der Anzeigespeicher mit dem letzten Meßergebnis versorgt. Die Vergleichsspannung tritt in gleichmäßigen Zeitabständen immer wieder sägezahnartig auf.

Daß die Anzahl der während eines Meßintervalls gezählten Taktimpulse nicht nur von der Größe der gemessenen Spannung, sondern auch von der Anstiegsgeschwindigkeit der Sägezahnspannung abhängt, darf nicht unerwähnt bleiben, kann aber in diesem Rahmen nicht weiter erläutert werden. Es sei nur angedeutet, daß die Anstiegsgeschwindigkeit der Sägezahn-Vergleichsspannung Einfluß auf die Auflösung bzw. die Genauigkeit der Meßwertanzeige und auf den Meßbereich hat.

Beim Sägezahn-Verfahren wird als direkte Eingangsmeßgröße eine Spannung verarbeitet. Es können aber auch andere Größen gemessen werden, wenn sie in eine analoge Spannung umgewandelt werden.

Beispielsweise kann eine Temperaturmessung über eine Spannungsmessung erfolgen, indem in einem Thermoelement eine der Temperatur analoge Spannung erzeugt wird. Gleiches gilt für Druck-, Kraft-, Beschleunigungs- und viele andere Messungen.

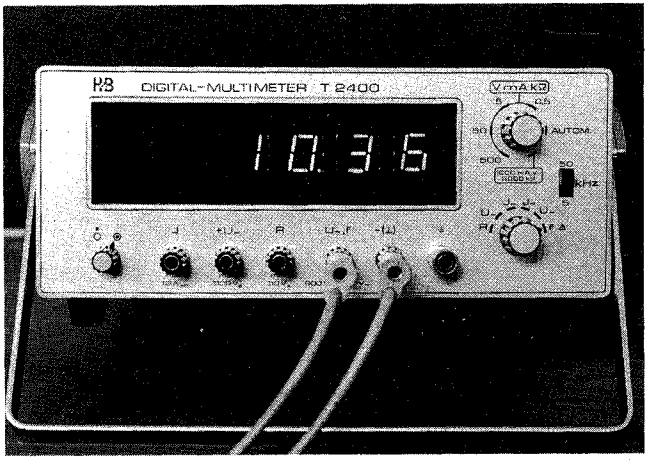


Bild 10/25. Beispiel eines tragbaren Digital-Multimeters zum Messen von Spannungen, Strömen, Widerständen und Frequenzen.

Übung 10/8 ?

Meßbereich und Anzeige eines Digitalvoltmeters.

Bei einem Digitalvoltmeter betrage die Meßzeit jeweils maximal 0,2 s. Die Anstiegsgeschwindigkeit der Sägezahnvergleichsspannung sei auf 0,5 V/ms, die Zählfrequenz auf 50 kHz eingestellt.

a) Welcher Meßbereich kann erfaßt werden?

b) Wieviele Stellen sind für die Anzeige notwendig?

c) Welcher Spannungswert entspricht einer Einheit der letzten Anzeigestelle?

Digitaluhren

Bei allen gebräuchlichen Uhren wird die analoge Größe „Zeit" digitalisiert. Das heißt die Anzahl der in einer bestimmten Zeit auftretenden gleichmäßigen Schwingungen eines Systems, z.B. eines Pendels, einer Unruh oder eines elektronischen Schwingquarzes, wird als Maß für die abgelaufene Zeit verwendet.

Bei den meisten mechanischen Uhren erfolgt die Zeitanzeige aus Gründen des geringeren technischen Aufwandes analog mittels Zeigern. Seit jedoch die Herstellung und der Einsatz von elektronischen Zählern und Ziffernanzeigebausteinen in integrierter Technik produktionstechnisch einfacher und relativ preiswert geworden sind, kommen immer mehr Uhren auf den Markt, bei denen alle Funktionsvorgänge bis zur Anzeige der Zeit digital ablaufen, Bild 10/26.

In Bild 10/27 ist als Beispiel das Blockschaltbild einer Digitaluhr dargestellt, bei der die Netzfrequenz als zeitbestimmende Zähltaktfrequenz verwendet wird. Ein Impulsformer (Trigger) wandelt die Sinusschwingungen der Netzspannung in Rechteckimpulse um; ein Frequenzteiler untersetzt die 50 Hz-Netzfrequenz auf einen Takt je Sekunde.

Die Sekundentakte werden nach Sekunden, Minuten und Stunden mittels entsprechender Zählereinheiten gezählt.

Für die zweistellige Sekundenzählung sind zwei Zählereinheiten notwendig, und zwar ein Zähler, der von 0 bis 9 zählt, und ein weiterer Zähler, der von 0 bis 5 zählt, denn die höchste Sekundenanzeige ist 59, bevor ein Übertrag auf einen Minutenzähler gegeben wird und die Sekundenzähleinheit erneut bei Null beginnt.

Die Minutenzählereinheit zählt wie die Sekundenzählereinheit, nämlich von 0 bis 59. Der sechzigste vom Sekundenzähler kommende Zähltakt setzt den Minutenzähler auf Null, wobei ein Übertrag auf den Stundenzähler gegeben wird.

Für die zweistellige Stundenzählung wird eine Zählereinheit, die von 0 bis 23 zählt, benötigt. Zu berücksichtigen ist, daß der Stundenzähler in der Einer-Stelle einmal von 0 bis 9 (von 00 Uhr bis 19 Uhr) und dann von 0 bis 3 (von 20 Uhr bis 23 Uhr) zählen muß. Das wird durch eine Rückstellung erreicht, die beim Zählerstand 23 h 59 min 59 s vorbereitet sein muß. Mit dem nächsten Takt wird nicht der Zählerstand 24 h 00 min 00 s, sondern der Stand 00 h 00 min 00 s erreicht.

Durch Vorwählen eines bestimmten Zählerstandes mit Hilfe von Vorwahlschaltern können Steuersignale auf die Sekunde genau beispielsweise für Alarmzeichen oder zum Schalten von Geräten gegeben werden.

Wird bei einer Digitaluhr, Bild 10/27, eine über die Genauigkeit der Netzfrequenz hinausgehende besonders hohe Genauigkeit gewünscht, kann ein stabilisierter Quarzoszillator verwendet werden. Die hohe Quarzfrequenz z.B. von 1 MHz wird durch entsprechende Teilerstufen auf 1 Hz herabgesetzt. Man erzielt Genauigkeiten von Sekundenbruchteilen bezogen auf ein Jahr!

Auch Kalenderanzeigen sind durch weitere Zählerstufen im Anschluß an die Stundenzählung möglich.

Bild 10/26. Vollelektronische, quarzgesteuerte Digital-Armbanduhr.

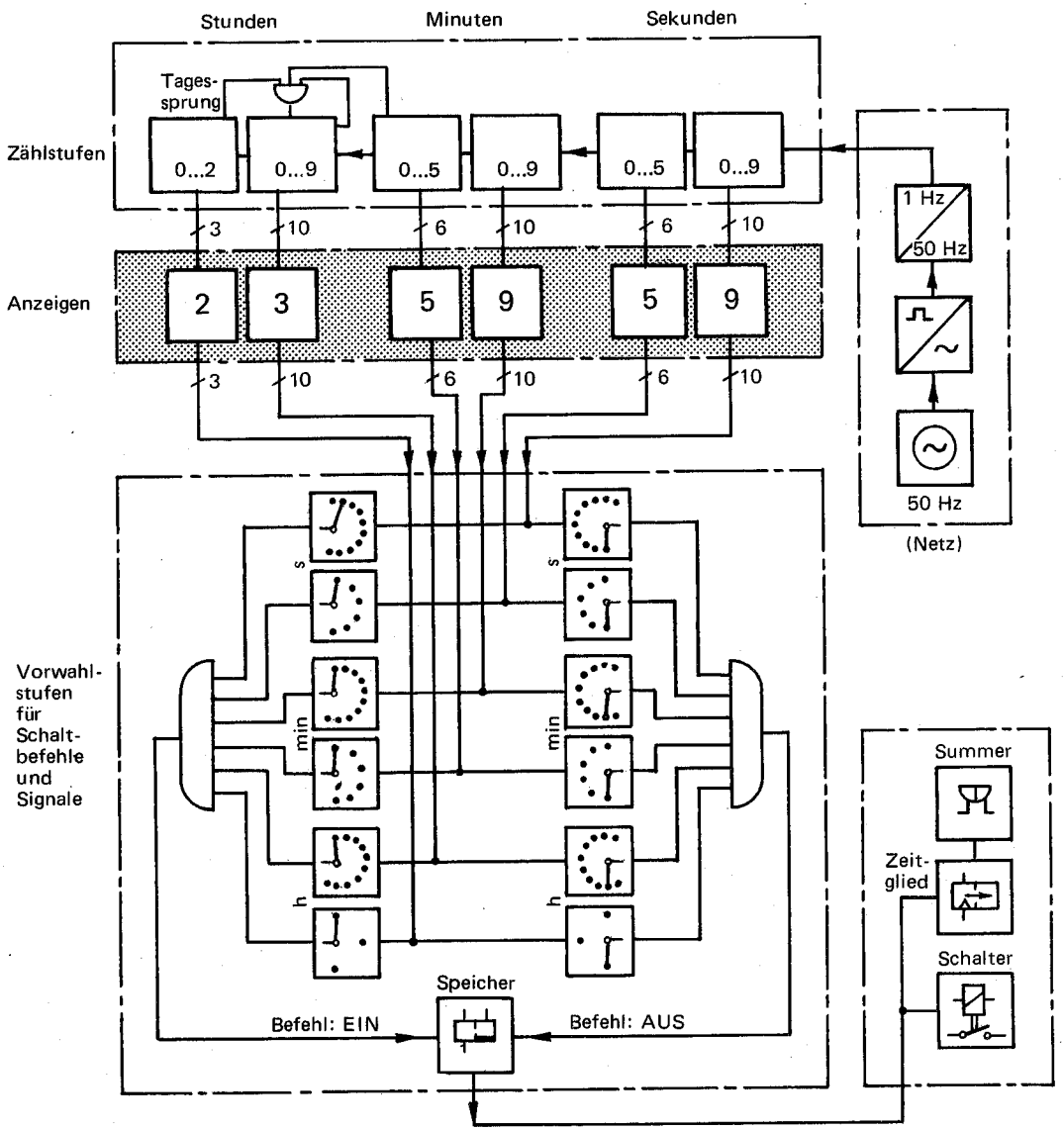
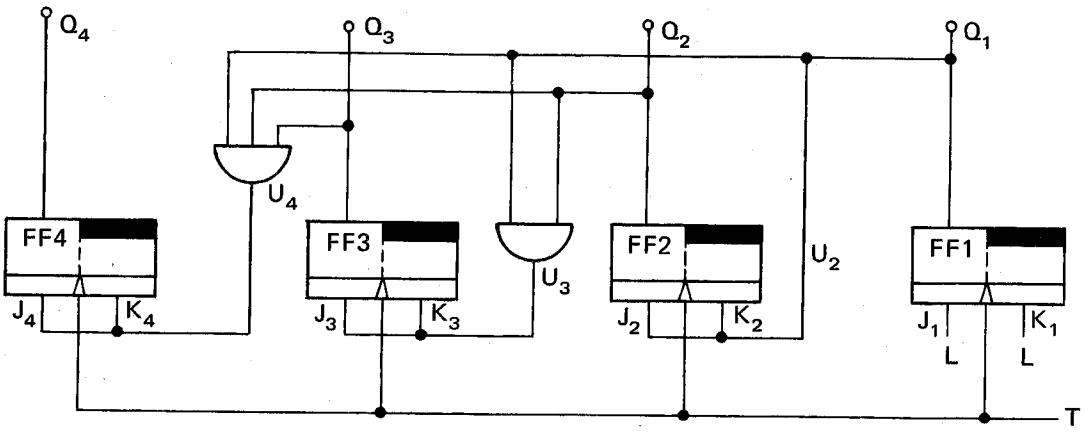


Bild 10/27. Digitaluhr mit vorwählbaren Zeiten zur Signalgabe für das sekundengenaue Ein- und Ausschalten von Geräten.

Übung 10/9 **Fallstudie**

Entwurf einer synchron geschalteten Zähldekade



a) In Übung 9/1 und 9/2 (Kap. 9) wurde festgestellt:

1. Wird eine duale Zählstelle an einem Zählschritt beteiligt, so ändert sie ihren Zustand.

2. Beim Vorwärtszählen ändert eine duale Zählstelle ihren Zustand, wenn unmittelbar vor einem Zählimpuls alle Stellen mit niedrigerem Wert auf L stehen.

Wie spiegeln sich diese beide Regeln in der angegebenen Schaltung wider? (Anhand von FF4 erläutern!)

b) Die Schaltung zählt von 0000 ≙ 0 bis LLLL ≙ 15 und geht dann wieder über auf null. Eine Zähldekade läuft bis L00L ≙ 9 in gleicher Weise, müßte aber dann statt auf L0L0 ≙ 10 übergehen auf 0000 ≙ 0. Überlegen Sie für die betrachtete Schaltung:

1. Welche Umkehrungen werden im Zustand L00L ≙ 9 vorbereitet?

2. Welche Umkehrungen müßten unterdrückt werden, damit kein Flip-Flop aus dem Zustand 0 auf L übergeht?

3. Welche Umkehrungen müßten zusätzlich vorbereitet werden, damit kein Flip-Flop auf L stehen bleibt?

c) Hätte man eine Schaltfunktion *I*, die von den Variablen Q_4, Q_3, Q_2, Q_1 abhängt und nur beim Zustand L00L ≙ 9 den Wert L annimmt, so könnte man damit die Umkehrvorbereitung von FF2 verriegeln. Geben Sie die Funktionsgleichung von *I* an.

d) Skizzieren Sie, wie die Umkehrvorbereitung von FF2 durch *I* verriegelt werden kann. In der Skizze benötigen Sie außer FF2 und der Schaltung von *I* noch ein UND-Glied und einen Negator.

e) Im Zustand L00L ≙ 9 ist U_4 ≙ 0 und *I* ≙ L. Beschreiben Sie in Worten, wie mittels *I* auch in diesem Zustand eine Umkehrvorbereitung von FF4 realisiert werden kann. Ihr Vorschlag darf das Verhalten des Zählers von 0 bis zum Eintreten von 9 nicht beeinflussen.

f) Von der Funktion *I* wird nur verlangt, daß sie von 0000 ≙ 0 bis L000 ≙ 8 den Wert 0 und für L00L ≙ 9 den Wert L annimmt. Die Wertekombination Q_4 = L und Q_1 = L tritt nicht für 0 bis 8, also erstmals für 9 auf. Wie könnte man die Schaltung von *I* demgemäß vereinfachen?

g) Zeichnen Sie die Schaltung der Zähldekade unter Benutzung der Lösung von Übung 10/9 d) bis f).

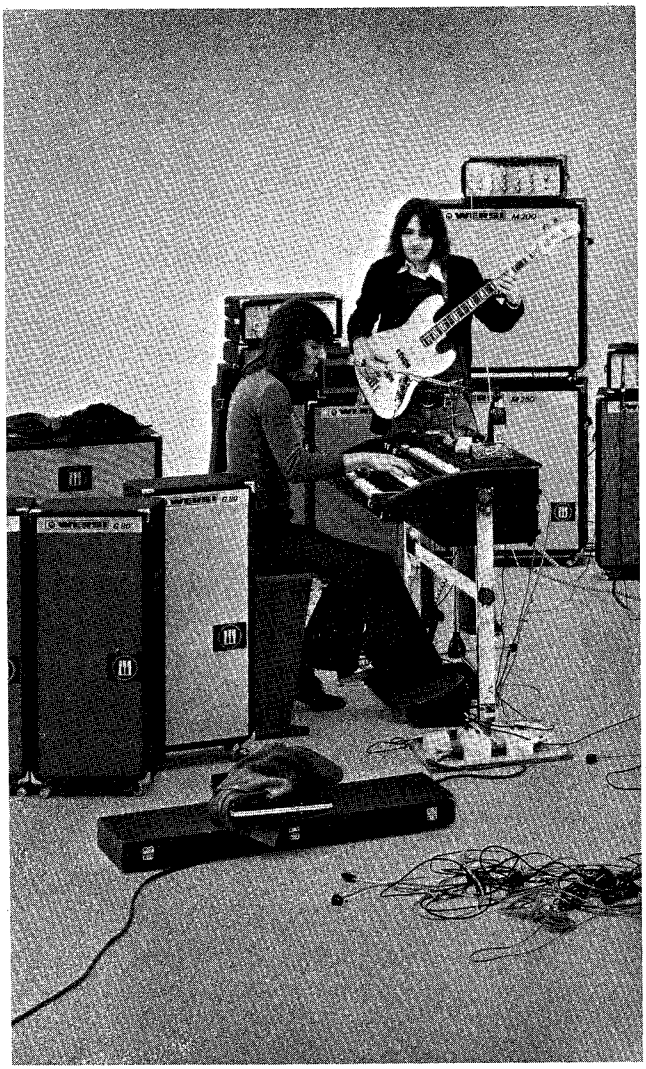


Bild 10/28. Elektronische Orgel als Beispiel für die Anwendung von digitalen Zählerbausteinen als Frequenzuntersetzer.
Aus einem einzigen Grundton der von einem sog. Mutteroszillator erzeugt wird, werden alle Töne und Klänge mit Hilfe von digitalen Frequenzuntersetzern gebildet. Jeder Frequenzteiler setzt sich aus einer Reihe von hintereinander geschalteten Zähl-Flip-Flops zusammen.

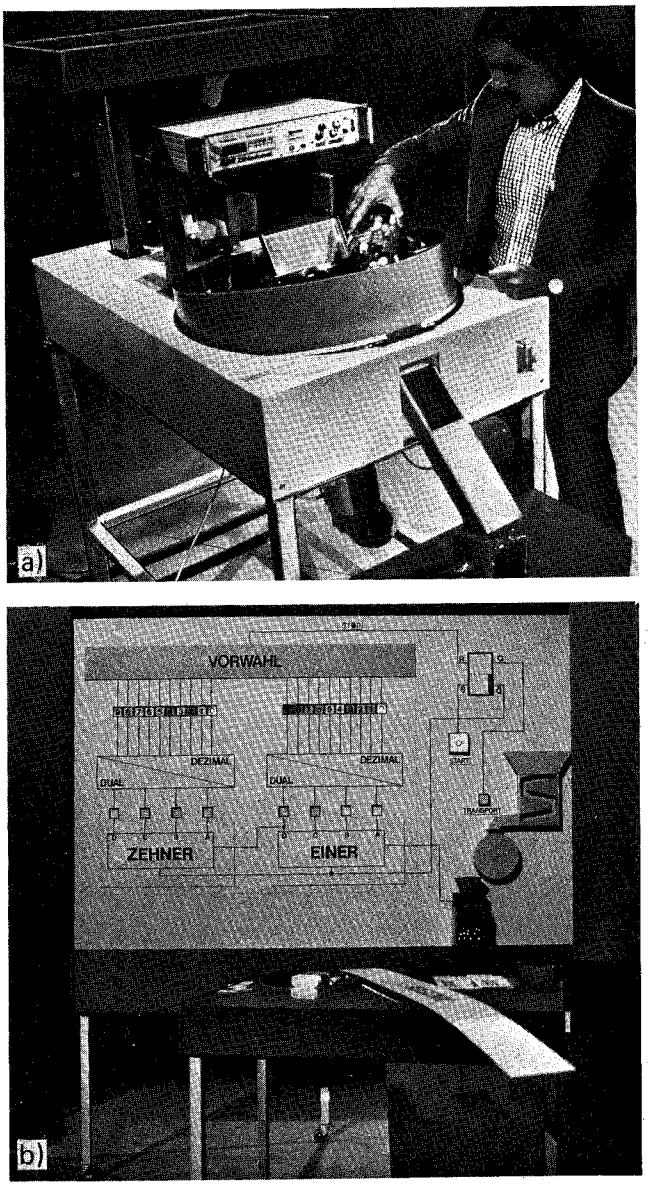
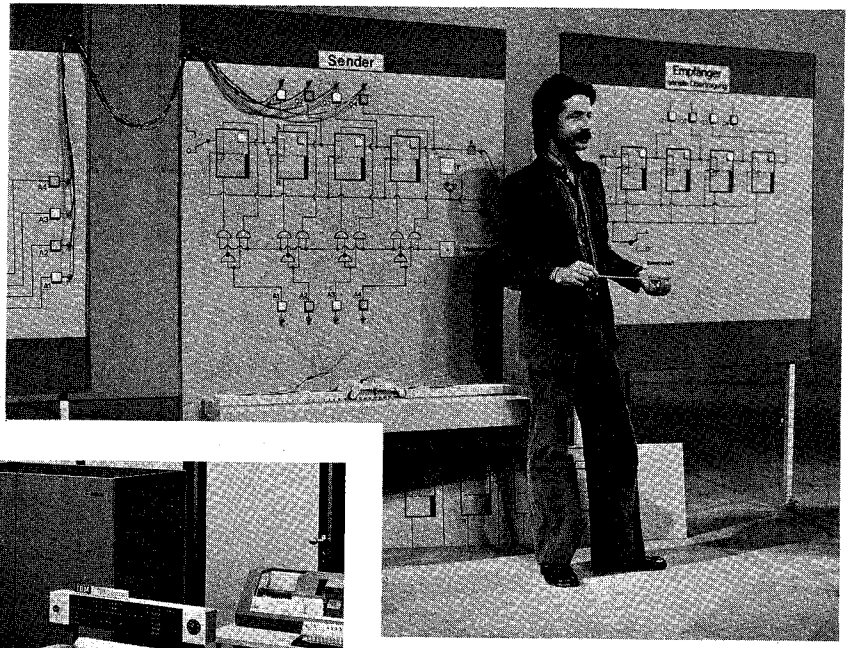


Bild 10/29. Studioszenen aus der Folge 10 der gleichnamigen WDR-Fernsehsendung.
a) Automat zum Abzählen und Dosieren von Einzelteilen.
b) Modell zur Demonstration des Funktionsprinzips elektronischer Zähler.

11. Grundlagen der digitalen Informationsübertragung

Bild 11/01. Szenenfoto aus der WDR-Sendereihe „Einführung in die Digitaltechnik". Moderation am Modell zur Demonstration des Prinzips der Nachrichtenübertragung.



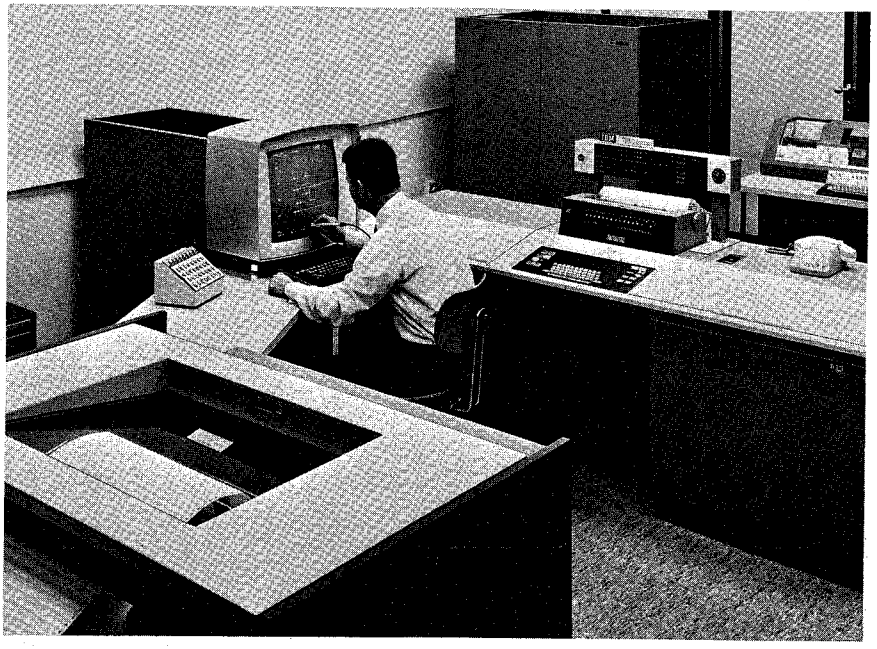


Bild 11/02. Rechnersystem für technisch-wissenschaftliche Anwendungen. Eine Fülle von Daten (Eingangs- und Ausgangsdaten) muß übertragen werden.

Jeder Telefonbenutzer kennt die mit diesem Informationsübertragungssystem verbundenen Unzulänglichkeiten. Das Prinzip eines solchen Systems zeigt Bild 11/1. Selbst bei kurzen Entfernungen können hierbei Störungen auftreten, die die gegenseitige Verständigung der Gesprächspartner stark beeinträchtigen. Aus der Vielzahl der möglichen Störungen sei ein Beispiel herausgegriffen, nämlich das sog. „Nebensprechen". Dies wird durch die gegenseitige Beeinflussung der parallel in geringem räumlichen Abstand geführten Leitungen hervorgerufen. Einen solchen Nebensprecheffekt verdeutlicht Bild 11/2. Obwohl man sich bemüht, eine derartige Störung möglichst zu unterdrücken, kann dadurch im ungünstigsten Fall eine Verständigung unmöglich gemacht werden.

Auch bei der beispielsweise für den Rundfunk verwendeten drahtlosen Nachrichtenübertragungen kommt es zu Empfangsstörungen, wie in Bild 11/3 angedeutet. Hierbei kann ein Signal derartig verfälscht werden, daß es vom Hörer nicht mehr verstanden wird. Man sagt, unabhängig von der Art der Störung, das Signal ist verrauscht. Trotz Verwendung komplizierter Systeme zum Verbessern der Empfangsqualität ist dann die Wiederherstellung des gesendeten Signals nur in gewissen Grenzen möglich.

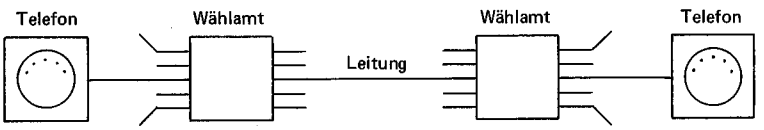


Bild 11/1. Telefonverbindung.

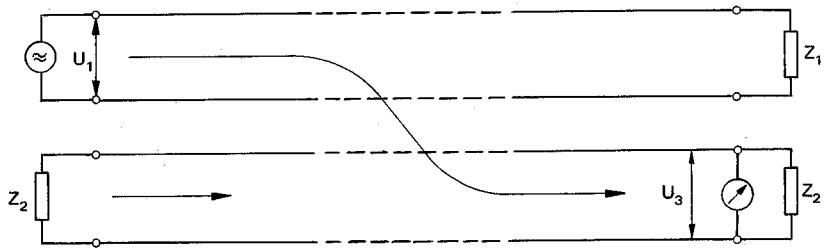


Bild 11/2. Nebensprechen.

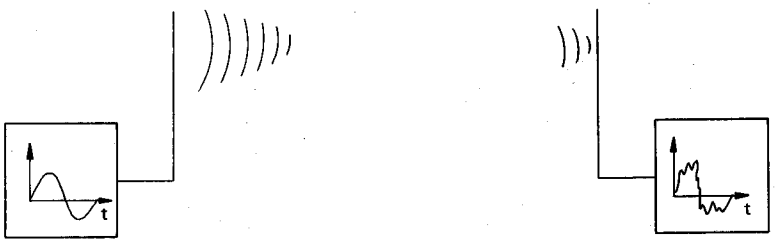


Bild 11/3. Störung bei Rundfunkübertragung.

gesendetes Signal

empfangenes Signal

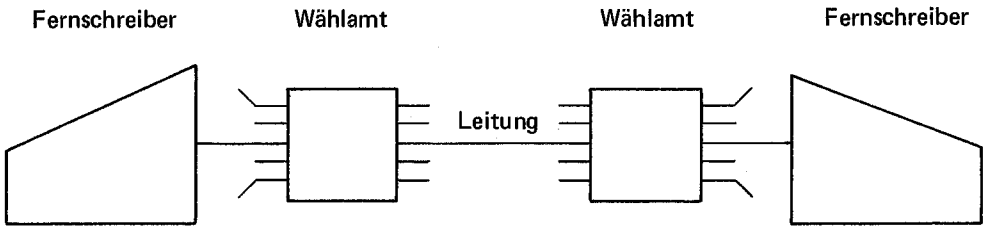


Bild 11/4. Fernschreibverbindung.

Mit der Entwicklung moderner digitaler Nachrichtenverarbeitungsanlagen sind die Anforderungen an eine fehlerfreie Informationsübertragung erheblich gestiegen. Ein seit langer Zeit bekanntes und eingesetztes Übertragungssystem, das obendrein der inneren Struktur digitaler Systeme gut angepaßt ist, der Fernschreiber, erfüllt diese Voraussetzungen. Bild 11/4 zeigt eine Verbindung von zwei Fernschreibern über das normale Telefonnetz. Im Gegensatz zu vorher erwähnten Übertragungssystemen digitalisiert der Fernschreiber jede Nachricht, d.h. er wandelt jede Information in eine Impulsfolge um. Dabei wird nur zwischen den beiden Zuständen „Strom fließt" und „Strom fließt nicht" unterschieden. Die einzelnen Impulse müssen dabei, wie in Bild 11/5 dargestellt ist, in einem festgelegten Zeitabstand erfolgen. Auch wenn, wie aus Bild 11/6 ersichtlich, eine gesendete Impulsfolge verfälscht empfangen wurde, kann bei der digitalen Informationsübertragung mit großer Sicherheit das ursprüngliche Signal wieder gewonnen, man sagt „regeneriert" werden.

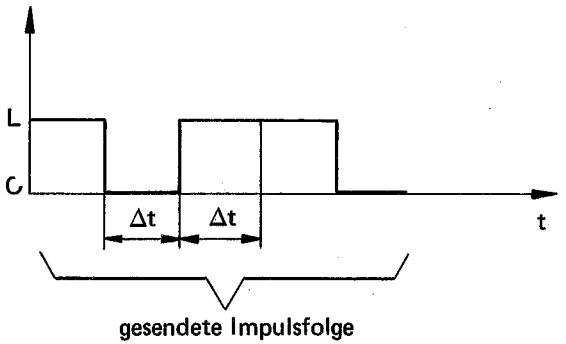


Bild 11/5. Digitale Nachricht (Wortlänge 4 bit).

Merke:
Schlecht empfangene Signale können regeneriert werden, wenn sie digital übertragen wurden.

Außer der Übertragung einer Information durch eine Folge von nur zwei unterschiedlichen Zuständen werden zu speziellen Zwecken auch digitale Übertragungssysteme mit mehr als zwei Zuständen verwendet, z.B. vier oder acht. Auf solche Systeme soll hier jedoch nicht eingegangen werden, da eine Beschäftigung hiermit an dieser Stelle keine neuen Erkenntnisse bringen kann.

Übung 11/1 ?

Ist die Nachrichtenübertragung mit Hilfe des Morse-Alphabets der digitalen Nachrichtenübertragung zuzurechnen?

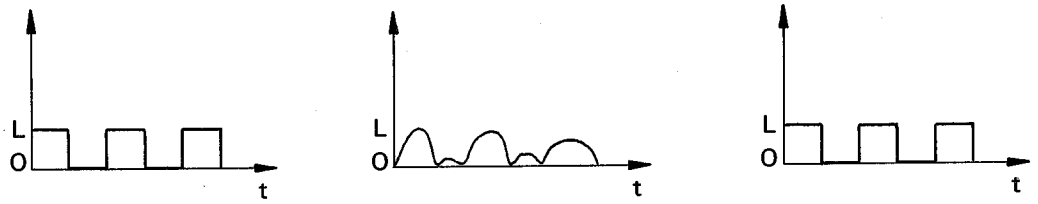


Bild 11/6. Regenerierung einer verfälschten Impulsfolge.

Informationsverschlüsselung – Codieren

Zur digitalen Nachrichtenübertragung werden, wie bereits bekannt ist, Zahlen des Dezimalsystems in Folgen von 0 und L übersetzt. Die einzelnen Ziffern sind in diesen Folgen mit Gewichten behaftet, die aus Potenzen von 2 gebildet sind. Die Ziffernfolge 0LL0 z. B. ist zu lesen als $0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$, stellt also die dezimale 6 dar. Nun kommt es jedoch vor, daß man nicht nur Zahlen darstellen will, sondern andere Zeichen oder Begriffe. Beim Fernschreiber muß man z.B. das Alphabet verschlüsseln. Hierzu kann natürlich ein Zahlensystem nicht benutzt werden. Wohl aber können die Vorteile des Dualzahlensystems mit seinen nur zwei unterscheidbaren Zeichen 0 und L auch auf die Darstellung von nichtnumerischen Zeichen übertragen werden, wenn man sich eines Schlüssels bedient, der den zu verschlüsselnden Zeichen Folgen von 0 und L zuordnet. Derartige Folgen werden dann nicht mehr in einem Zahlensystem interpretiert, sondern an Hand dieses Schlüssels. Man kann sich etwa Zuordnungsvorschriften vorstellen, die die Folge LL000 dem Buchstaben A, die Folge L00LL dem Buchstaben B, die Folge 0LLL0 dem Buchstaben C und andere Folgen aus 0 und L den weiteren Buchstaben des Alphabets zuordnen. Einen derartigen Schlüssel nennt man einen Code. Codieren bedeutet also Verschlüsseln von Zeichen, Buchstaben oder, allgemein, von Informationen. Sind die den zu verschlüsselnden (zu codierenden) Zeichen zugeordneten Codezeichen Folgen aus 0 und L, also aus nur zwei unterschiedlichen Zeichen, so nennt man ein derartiges Zuordnungssystem einen binären Code. Die digitale Technik beruht weitgehend auf binärer Codierung von Informationen. Selbstverständlich können auch numerische Informationen beliebig codiert werden und müssen nicht in den speziellen Codeformen der Zahlensysteme dargestellt werden.

Durch Codieren können die zu verarbeitenden Informationen in eine Form gebracht werden, die für die technische Verarbeitung besonders günstig ist. Man kann die codierten Informationen leichter, sicherer oder schneller übertragen, man kann auf Grund spezieller Codierungen eine Fehlererkennbarkeit oder Korrigierbarkeit von falsch übertragenen Informationen herbeiführen. Schließlich können Codes aus Gründen der Geheimhaltung benutzt werden.

> Merke:
> Codieren bedeutet das Verschlüsseln von Zeichen, Buchstaben oder allgemein von Informationen.

Einige spezielle, oft verwendete Codes und die Gesichtspunkte zu ihrer Auswahl werden später etwas ausführlicher behandelt werden. Im folgenden soll zunächst einmal näher auf das Prinzip der digitalen Informationsübertragung eingegangen werden.

Informationen werden übertragen

Oft wird eine digitale Information nicht an der Stelle weiterverarbeitet, wo sie gewonnen wurde, sondern sie muß – beispielsweise zu einem Rechner – übertragen werden. Eine derartige Information, die i. a. aus einer binären Zeichenfolge fester Länge besteht, kann man jetzt auf zwei prinzipiell unterschiedliche Arten übertragen. Man kennt parallele und serielle Übertragung. Im ersten Fall werden alle Bits der Information gleichzeitig, man sagt auch bitparallel, über eine entsprechende Anzahl von Leitungen übertragen, wie in Bild 11/7 gezeigt ist.

Parallelübertragung wird man immer dann vorziehen, wenn die Länge des Übertragungsweges und damit der Leitungsaufwand gering ist oder wenn man an einer hohen Übertragungsgeschwindigkeit, wie z.B. innerhalb eines Rechners, interessiert ist.

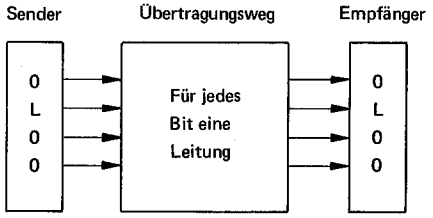


Bild 11/7. Parallelübertragung.

Um bei größeren Entfernungen die Übertragungskosten niedrig zu halten, verwendet man nur eine Leitung, d.h. man geht von der parallelen zur seriellen Übertragung über.

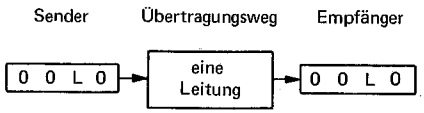
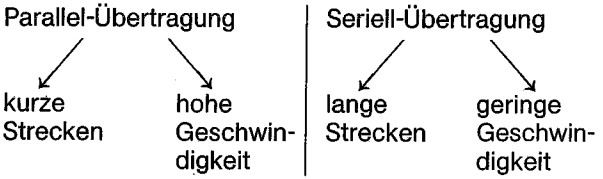


Bild 11/8. Seriell-Übertragung.

Zu diesem Zweck wird die vorliegende Information in einem Schieberegister gespeichert und von dort, Bit für Bit, in der in Bild 11/8 angedeuteten Weise über eine einzige Leitung übertragen und auf der Empfängerseite wieder zu dem vollständigen Datenwort zusammengefügt.

Da bei der seriellen Übertragung die einzelnen Bits zeitlich nacheinander übertragen werden, bedingt dies für die Gesamtinformation eine geringere Übertragungsgeschwindigkeit. Demgegenüber muß die höhere Übertragungsgeschwindigkeit bei parallelem Betrieb mit einem höheren Leitungsaufwand erkauft werden.

Merke:



Nach diesem kurzen Überblick sollen jetzt einige grundlegende Probleme der digitalen, speziell der binären Datenübertragung etwas näher beleuchtet werden.

Den Ausgangspunkt bildet eine ganz einfache Parallel-Übertragung, die schrittweise verbessert werden soll. Unter Berücksichtigung der dabei gewonnenen Erkenntnisse wird dann ein Modell für eine serielle Datenübertragung entwickelt werden.

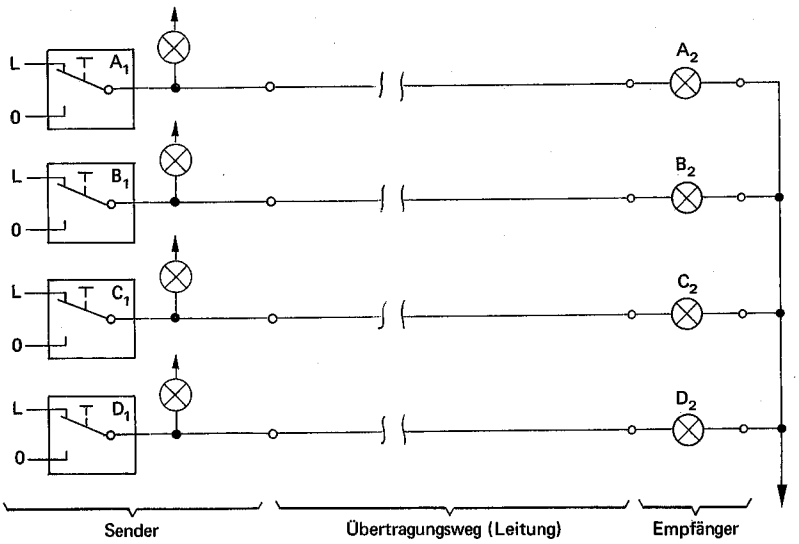


Bild 11/9. Einfaches Modell zur Parallelübertragung.

Parallel-Übertragung

Eine recht primitive Anordnung zur Parallel-Übertragung ist in Bild 11/9 gezeigt. Man sieht auf der linken Seite Schalter – der Einfachheit halber sind es nur vier Stück –, mit denen vier Lämpchen ein- und ausgeschaltet werden können. Der Zustand dieser Lampenreihe soll die zu übertragende Nachricht darstellen. Man kann also mit diesen Schaltern unterschiedliche Sendeinformationen erzeugen. In Wirklichkeit, so muß man sich vorstellen, kommt die Information vielleicht von einem automatischen Meßwertgeber oder irgendeinem anderen elektronischen Gerät.

Die Sendeinformation ist also bereitgestellt, nun soll sie zum Empfänger übertragen werden.

Dies ist recht einfach. Man hat lediglich vier Leitungen zu schalten, für jedes Bit eine, und steuert mit diesen Leitungen wieder vier Lämpchen an, deren Zustand über die empfangene Information Auskunft gibt.

Natürlich muß auf der rechten Seite, also beim Empfänger, keine optische Anzeige sein, im allgemeinen Fall werden sich auch dort irgendwelche elektrischen oder elektronischen Geräte befinden, die die empfangene Information in geeigneter Weise verarbeiten.

Für ganz bestimmte Anwendungsfälle kann eine Datenübertragung in der eben gezeigten Weise durchaus hinreichend sein. Meistens werden jedoch höhere Anforderungen an eine Übertragungsstrecke gestellt, wodurch die gesamte Anlage sowohl auf der Sender-als auch auf der Empfängerseite erheblich komplizierter werden kann.

Ohne auf mögliche spezielle Bedürfnisse der verwendeten Datenquelle oder der Verarbeitungsgeräte weiter einzugehen, lassen sich bei einer kritischen Betrachtung der Anlage doch einige allgemeine Mängel leicht feststellen:

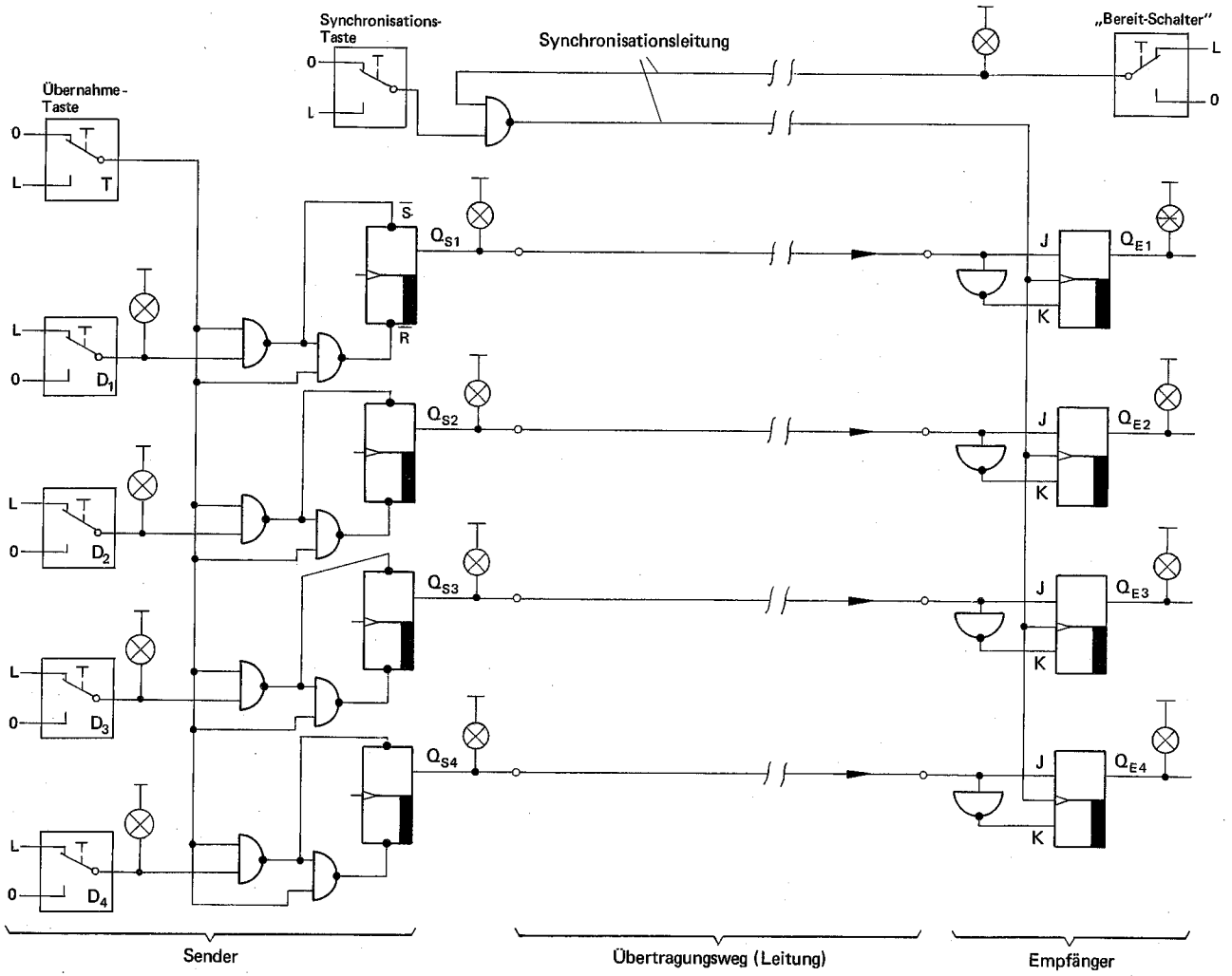


Bild 11/10. Zweites Modell zur Parallelübertragung.

Woher soll der Empfänger eigentlich wissen, daß die gerade empfangene Nachricht auch eine gültige Nachricht ist. Vielleicht ist der Sender gestört; oder es kann vorkommen, daß sich die empfangene Information so schnell ändert, daß sie gar nicht verarbeitet werden kann, denn Verarbeitung kostet im allgemeinen Zeit. Es muß also zweierlei vorgesehen werden. Einmal ist eine Synchronisation zwischen Sender und Empfänger erforderlich, d.h. eine weitere Leitung, deren logischer Zustand dem Empfänger sagt: Die gerade anstehende Nachricht ist eine gültige Nachricht. Zum zweiten sollte die Empfängerseite Flip-Flop-Speicher enthalten, so daß die empfangene Information aufgehoben werden kann, bis sie richtig verarbeitet ist.

Doch was nützt die Speicherung beim Empfänger, wenn der Sender die gespeicherte Information jederzeit überschreiben kann? Dieses Problem ist dadurch zu lösen, daß eine zusätzliche Leitung zwischen Empfänger und Sender geschaltet wird, mit deren Hilfe der Empfänger mitteilt, daß er zur Aufnahme einer neuen Information bereit ist. Daraus ergibt sich aber eine weitere Forderung, denn wenn der Sender warten muß, bis der Empfänger zur Aufnahme einer Information bereit ist, so muß er zwangsläufig in der Lage sein, die zu sendende Information so lange zu speichern. Also muß auch auf der Senderseite ein Flip-Flop-Speicher eingeplant werden.

Zusammengefaßt: Sender und Empfänger müssen jeweils einen Flip-Flop-Speicher erhalten, wobei die Anzahl der Flip-Flops durch die Wortlänge der Information (Anzahl der Bits) bestimmt ist. Man nennt derartige Speicher auch Register, im Zusammenhang mit Datenübertragung spricht man auch von Puffern oder Pufferspeichern. Außerdem werden Signalleitungen benötigt, mit deren Hilfe Sender und Empfänger den Datenaustausch zeitlich koordinieren können.

Ein Übertragungssystem, das diesen Anforderungen Rechnung trägt, zeigt Bild 11/10. Wie in Bild 11/9 sind links wieder die Schalter zu erkennen, mit denen die Sendeinformation erzeugt wird. Optisch wird diese Schalterstellung durch die vier Lämpchen in der linken Reihe angezeigt.

Das Senderegister besteht aus J-K-Flip-Flops, bei denen jedoch nur neben dem Ausgang Q_s die statischen Setz- und Rücksetzeingänge $\overline{S}$ bzw. $\overline{R}$ von Interesse sind. Der Funktion nach handelt es sich also um einfache R-S-Flip-Flops. Da jedoch im allgemeinen bei der seriellen Übertragung J-K-Flip-Flops verwendet werden, sollen sie bereits hier betrachtet werden (vgl. a. S. 207).

Wie gelangt nun die Sendeinformation in das Senderegister? Nun, man erkennt oben links in Bild 11/10 einen Schalter „Übernahmetaste", das entsprechende logische Signal ist mit „T" bezeichnet. Der Übernahme-Vorgang ist für alle Flip-Flops gleich, es genügt deshalb, z. B. das oberste zu betrachten. Dem zugehörigen Schalter zur Erzeugung der Sendeinformation ist die logische Variable „D" ($D_1 - D_4$) zugeordnet.

Wie bereits aus Kapitel 8 bekannt ist, ergibt sich am Ausgang Q dann der Zustand L, wenn am Eingang $\overline{S}$ der Pegel 0 liegt.

Damit läßt sich die Ansteuerbedingung für den Setzeingang z. B. bei Verwendung von NAND-Gattern schreiben (vgl. a. mit Bild 8/20 von Kapitel 8):

$$\overline{S} = \overline{D \wedge T}.$$

Entsprechend gilt:

$$\overline{R} = \overline{\overline{T \wedge D} \wedge T}.$$

Dies ist also die Funktion der beiden NAND-Gatter*).

T	D	$\overline{S}$	$\overline{R}$	Q
0	0	L	L	bleibt
0	L	L	L	bleibt
L	0	L	L	0
L	L	0	L	L

Bild 11/11. Asynchrone Ansteuerung des JK-Flip-Flops.

Zur Verdeutlichung sei Bild 11/11 betrachtet. Man erkennt daran, daß für $T = 0$ immer $\overline{S} = \overline{R} = L$ ist, unabhängig von D. Nur mit $T = L$ wird die Information übernommen, d.h. $Q_s = D$. Durch Betätigung der Übernahme-Taste kann also der Zeitpunkt der Übernahme der Information in das Senderegister genau festgelegt werden, oder, mit anderen Worten, der Inhalt des Senderegisters bleibt so lange erhalten, bis er zum Empfänger übertragen werden kann.

Die Übernahme-Taste hat also eine ganz wichtige Funktion. Sie ist natürlich im allgemeinen kein mechanischer, sondern ein elektrischer Schalter. Soll z.B. ein Meßwert periodisch abgetastet werden, so wird der elektrische Schalter durch einen Impulsgenerator angesteuert.

Die Information befindet sich nun im Senderegister. Sie kann zum Empfänger übertragen werden, wenn dieser zur Annahme bereit ist. Ist dies der Fall, so ist der „Bereit"-Schalter in der Position L, und durch Druck auf die Synchronisationstaste wird ein Taktimpuls erzeugt, mit dessen abfallender Flanke alle J-K-Flip-Flops des Empfängers die an ihren Vorbereitungseingängen J bzw. K anstehende Information übernehmen.

*) Die Ansteuerung läßt sich in ähnlicher Weise auch unter Verwendung von NOR-Gattern sowie mit Kombinationen von UND-, ODER- und NICHT-Gattern realisieren (s. Studiomodell Seite 274).

Durch geeignete schaltungstechnische Maßnahmen kann erreicht werden, daß mit dem gleichen Taktimpuls der „Bereit"-Schalter zurückgestellt wird, so daß die gerade empfangene Nachricht nicht sogleich wieder überschrieben werden kann.

Was ist nun durch die gegenüber dem vohergehenden Übertragungsmodell schon recht komplizierte Anlage gewonnen?

Nun, je komplexer ein Datenverarbeitungssystem ist, desto mehr ergibt sich die zwingende Notwendigkeit, die in dem System ablaufenden Prozesse zeitlich genau festzulegen. Ein solcher Prozeß ist auch die Übertragung digitaler Information von einem Teil des Systems zu einem anderen. Welcher Teil die Steuerung übernimmt, Sender oder Empfänger oder eine dritte, übergeordnete Einheit, hängt von den jeweiligen speziellen Erfordernissen ab. Denkbar ist, um ein extremes Beispiel anzuführen, auch eine Steuerung durch den Inhalt der vom Empfänger übernommenen Information. In jedem Falle aber ist die zeitliche Steuerung des gesamten Übertragungsablaufes von grundlegender Bedeutung und der schaltungstechnische Aufwand dafür kann u. U. sehr erheblich werden. Je größer die Entfernungen zwischen Sender und Empfänger und je höher die Übertragungsgeschwindigkeiten sind, desto größere Anforderungen müssen an Einrichtungen von Sender und Empfänger gestellt werden. Die heutzutage billigen und sehr zuverlässigen integrierten Schaltkreise erlauben diesen Aufwand. Was jedoch wesentlich mehr ins Gewicht fällt, sind bei weiteren Übertragungsstrecken die Kosten für die Leitungen selbst. Dies ist der Grund, weshalb man dann von der parallelen Übertragung zur seriellen übergeht.

Serielle Datenübertragung

Bei der seriellen Datenübertragung werden alle Bits einzeln nacheinander über eine Leitung übertragen. (Eine Leitung in diesem Sinne bedeutet dabei natürlich ein Adernpaar, denn der elektrische Strom braucht ja eine Hin- und eine Rückleitung.)

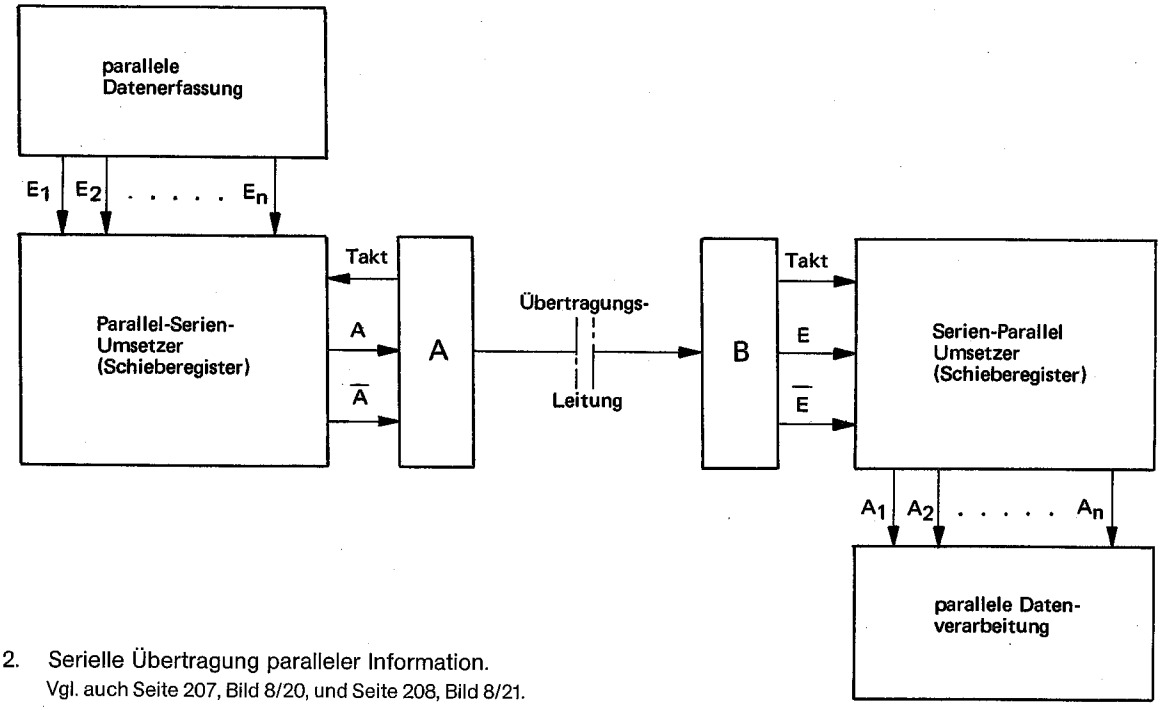


Bild 11/12. Serielle Übertragung paralleler Information.
Vgl. auch Seite 207, Bild 8/20, und Seite 208, Bild 8/21.

Da die Information bei der Datenquelle (Senderseite) und der Datensenke (Empfängerseite) in paralleler Form erzeugt bzw. verarbeitet wird, braucht man also Parallel-Serien-Umsetzer bzw. Serien-Parallel-Umsetzer. Dazu eignen sich entsprechend beschaltete Schieberegister. Sie bilden das Kernstück der seriellen Datenübertragung. Eine ausführliche Beschreibung des Aufbaus und der Beschaltung dieser Register findet sich im Begleitmaterial von Kapitel 8 Bild 8/17.
Eine prinzipielle Anordnung zur seriellen Übertragung zeigt Bild 11/12.

Das wesentliche Problem dabei verbirgt sich in den „Schwarzen Kästen" A bzw. B. Sie enthalten die Vorrichtungen, die zur Synchronisation von Sender und Empfänger unbedingt erforderlich sind. Je nach benötigter Übertragungsgeschwindigkeit und nach Anzahl der Zeichen je Nachricht sind hierbei unterschiedliche Verfahren gebräuchlich, von denen einige im folgenden kurz erläutert werden sollen.

Es wird dabei vorausgesetzt, daß Sender und Empfänger über getrennte Taktgeneratoren verfügen, die bei gleicher Frequenz arbeiten.

Die Aufgabe der Synchronisation besteht nun zunächst darin, zu vermeiden, daß diese Generatoren zeitlich versetzt gegeneinander laufen, bzw. sicherzustellen, daß die zeitliche Versetzung genau der Signallaufzeit zwischen Sender und Empfänger entspricht. Es entsteht ein sog. Zeitraster, und die Übertragungsdauer eines jeden Bits fällt genau zwischen zwei aufeinanderfolgende Rasterpunkte. Diese Synchronisation einzelner Bits ist aber nicht ausreichend, denn eine Nachricht besteht ja fast immer aus mehreren Zeichen. Der Empfänger muß auch erkennen können, wann die Bitfolge des einen Zeichens zu Ende ist und wann die des nächsten beginnt.

Werden die Zeichen in relativ großen und ungleichmäßigen Abständen gesendet, z. B. bei manueller Eingabe vom Fernschreiber zum Rechner, so gibt es nur eine vernünftige Lösung, den sog. Start-Stop-Betrieb. Dabei wird am Anfang der Bitfolge das Startzeichen und am Ende das Stopzeichen übertragen, mit dem Startzeichen wird zusätzlich noch das Zeitraster synchronisiert. Bild 11/13 zeigt als Beispiel die Übertragung des Buchstabens I im CCITT-2-Code. Zuerst wird das Start-Signal (0-Pegel) gesendet. Danach schließt sich die Bitfolge 0LL00 an

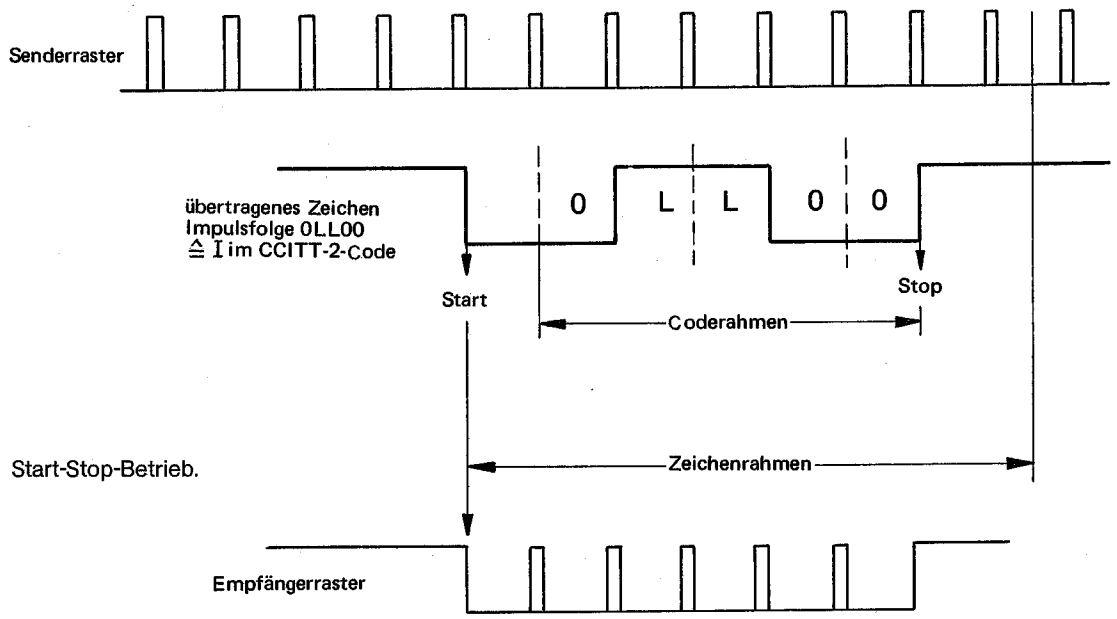


Bild 11/13. Start-Stop-Betrieb.

(Code für den Buchstaben I) und den Abschluß bildet der Stop-Schritt (L-Pegel). Der Stopschritt ist zeitlich 1,5mal so lang wie der Startschritt bzw. die Informationsschritte.

Der eben skizzierte Start-Stop-Betrieb wird meist nur bis zu Übertragungsraten von 200 b/s (Bit pro Sekunde) verwendet. Ist man an höheren Geschwindigkeiten interessiert, so muß man zum sog. Synchronbetrieb übergehen, um den Zeitverlust durch die ständigen Start-Stop-Signale zu vermeiden. Hierbei muß der Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger während der Übertragung eines ganzen „Blocks" von Informationen durch besondere Vorkehrungen ständig aufrecht erhalten werden. Daraus folgt aber, daß man zwischen zwei Synchronisationsvorgängen hinreichend viele Bits übertragen muß, um den Zeitverlust klein zu machen. Dabei sind an die Taktgeneratoren höhere Anforderungen zu stellen, da sie über einen längeren Zeitraum Gleichlauf bewahren müssen.

Vor der eigentlichen Datenübertragung wird dann zunächst ein immer von 0 nach L wechselndes Bitmuster gesendet, um den Gleichlauf herzustellen. Anschließend wird die Zeichensynchronisation hergestellt. Dies geschieht durch mehrere spezielle Bitfolgen von Zeichenlänge (SYN-Zeichen), die den Empfänger in die Lage versetzen, Zeichenanfang und -ende richtig zu erkennen.

Nach dieser einleitenden Synchronisationsphase können dann die Zeichen eine Nachricht fortlaufend ohne Trennung übermittelt werden.

Jedoch kann die Zeichenfolge, oder wie man auch sagt, der Datenblock, aus mehreren Gründen nicht beliebig lang gemacht werden. Erstens driften die Frequenzen der beiden Taktgeneratoren immer etwas gegeneinander, so daß die Synchronisation in gewissen Abständen wiederholt werden muß. Ein anderes wichtiges Kriterium ist die Güte der Leitung, denn sie bestimmt die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Bit falsch übertragen wird. Bei den im Synchronbetrieb verwendeten Codes wird, wie später noch näher erläutert wird, beim Empfänger eine blockweise Fehlerprüfung vorgenommen. Ist ein Block als fehlerbehaftet erkannt worden, so kann dieser nochmals gesendet werden. Aus derartigen Überlegungen ergibt sich eine für die jeweilige Leitung optimale Blocklänge. Größenordnungsmäßig umfaßt ein solcher Block bei Verwendung von Postleitungen einige 100 Zeichen. Aber auch die Aufnahmekapazität der verwendeten Geräte kann die Blocklänge bestimmen. So ist es z.B. üblich, bei einem Lochkartengerät mit einer Blocklänge von 80 Zeichen zu arbeiten, da diese gerade auf einer Lochkarte Platz haben.

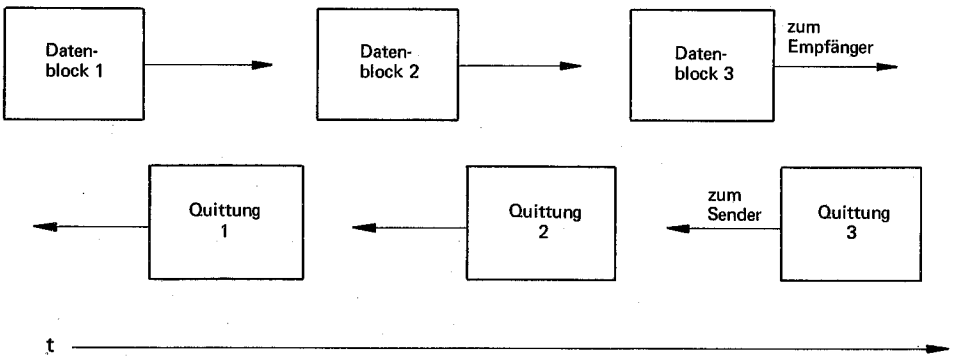


Bild 11/14. Prinzip der blockweisen Datenübertragung.

Weiter oben wurde bereits das Zeichen SYN erwähnt. Daneben gibt es noch weitere, je nach Code verschiedene, Steuerzeichen für den blockweisen Datenverkehr, so z.B. die Zeichen

STX (start of text): Blockanfang,
ETB (end of transmission block): Blockende,
ETX (end of text): Ende des letzten Blocks,
ACK (acknoledgement): Fehlerfreier Empfang.

Das Prinzip der blockweisen Datenübertragung zeigt Bild 11/14. Am Anfang eines jeden dort dargestellten Blocks wird eine erneute Zeichensynchronisation vorgenommen, und zwar in beiden Richtungen. Eingeleitet und beendet wird die Übertragung durch Austausch besonderer Signale. Nach Empfang eines gesendeten Datenblockes wird vom Empfänger zum Sender ein Quittungszeichen übertragen (Bild 11/14). Diesem Zeichen kann u.a. entnommen werden, ob der Empfang des gesendeten Datenblockes fehlerfrei erfolgte oder ob der entsprechende Datenblock nochmals übertragen werden muß.

Binäre Codes – Gesichtspunkte zu ihrer Auswahl

Die Genauigkeit numerischer Informationen ist bei der digitalen Darstellungsart beliebig hoch. Die Auswahl eines geeigneten binären Codes ist jedoch sehr stark an die Forderungen gebunden, die an die digitale Information bezüglich ihrer Verarbeitbarkeit gestellt werden. Bei Informationen, die im wesentlichen arithmetischen Operationen unterworfen werden, sieht ein zweckmäßig zu wählender Code natürlich anders aus als bei Informationen, die hauptsächlich Übertragungsoperationen etwa auf Leitungen unterworfen werden und bei denen eine größtmögliche Sicherheit der Übertragung gewährleistet werden soll. Ein Beispiel zeigt, wie für eine bestimmte technische Sachlage und Verarbeitungsforderung einige Codes unbrauchbar und andere zweckmäßig sein können. In diesem Beispiel soll ein zurückgelegter Weg, z.B. von einem Drehbanksupport oder einer Füllstandsmeßeinrichtung, ständig digital erfaßt werden, Bild 11/15.

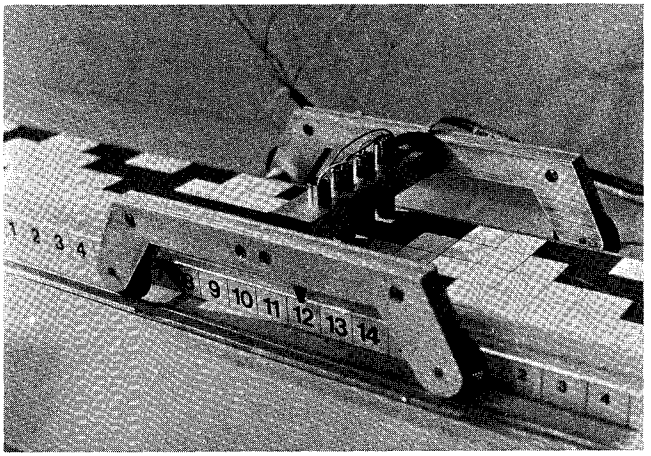


Bild 11/15. WDR-Modell zur Demonstration einer nach dem Gray-Code codierten Wegmessung.

Um die Position des Schlittens bzw. des Schwimmers zu erfassen, bringt man entlang der ganzen Bahn eine Leiste an, die gewissermaßen ein digitales Metermaß darstellt. Auf dieser Leiste kann die jeweilige Stellung „dual" kodiert werden, wie es auf der rechten Seite von Bild 11/16 gezeigt ist.

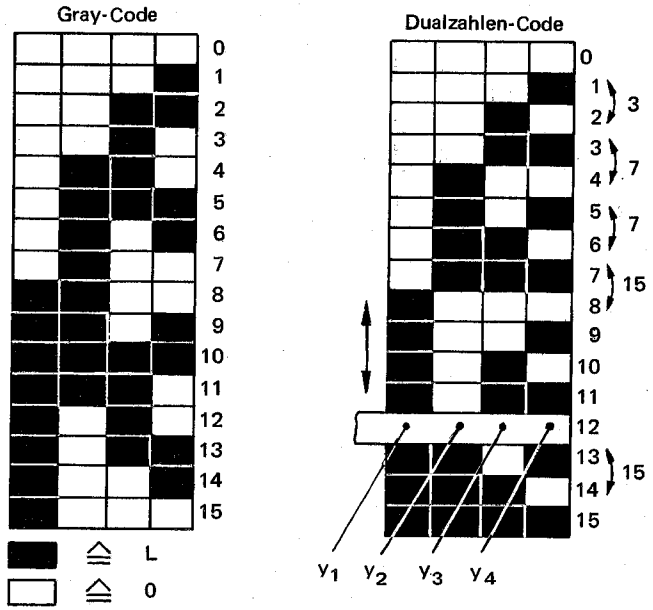


Bild 11/16. Digitale Wegcodierung.

Nach der Abtastung der entsprechenden Hell-Dunkelverteilung mit Hilfe von Fotozellen kann also dann an den vier Leitungen Y_1, Y_2, Y_3 und Y_4 stets die digitale Information über den von dem Gleitstück zurückgelegten Weg abgenommen und weiterverarbeitet werden. Wird das Dualzahlensystem als Code verwendet (Bild 11/16 rechts), treten aber unerwünschte Nebenerscheinungen auf. Wenn z.B. das Gleitstück aus der Stellung 1 in die Stellung 2 wechselt, so kann während dieses Übergangs kurzzeitig in den Leitungen A_3 und A_4 Spannung liegen. Dies deutet das System aber als die Weginformation mit dem Wert 3. Die sich ergebenden digitalen Signale verhalten sich also so, als ob das Gleitstück zunächst von 1 auf 3 und dann erst auf 2 laufen würde. Noch unangenehmer kann sich der Übergang von 7 auf 8 auswirken, wenn hier nämlich alle vier Fotozellen kurzzeitig L-Signal geben. Die digitale Information verhält sich so, als ob zunächst das Gleitstück von 7 auf 15 und von 15 dann auf 8 übergeht. Ein ähnliches Verhalten tritt auch an anderen Übergangsstellen der codierten Platte auf. Hieraus resultiert die Unbrauchbarkeit des benutzten Codes.

Für derartige Zwecke ist der „Gray-Code" dagegen sehr gut geeignet. Bei diesem binären Code werden die Dezimalzahlen in folgender Weise verschlüsselt:

Dezimal	Gray-Code	Dezimal	Gray-Code
0	≙ 0000	8	≙ 1100
1	≙ 0001	9	≙ 1101
2	≙ 0011	10	≙ 1111
3	≙ 0010	11	≙ 1110
4	≙ 0110	12	≙ 1010
5	≙ 0111	13	≙ 1011
6	≙ 0101	14	≙ 1001
7	≙ 0100	15	≙ 1000

Auf der linken Seite des Bildes 11/16 ist die zu codierende Strecke nun im Gray-Code codiert. Man überzeugt sich leicht, daß die soeben erwähnten Schwierigkeiten hier nicht auftauchen, da sich hier bei einem Übergang stets nur eine Ziffer in ihrem Wert ändern kann, bei jedem Zeilenübergang also nur einmal ein Übergang von 0 auf L oder von L auf 0 vorkommt. An den vier Fotozellen nimmt man während eines Übergangs von einer Zeile zur anderen entweder noch die bisherige Information oder dann sogleich die neue Information ab. Falsche Zwischenwerte können hier nicht auftreten. Der Gray-Code, der wegen seines Aufbaues auch reflektiert-binärer Code genannt wird, ist für eine derartige digitale Wegerfassung also gut geeignet, während das Dualzahlensystem sich hier als Code als ungeeignet erweist. Natürlich muß man bei der Weiterverarbeitung dieser im Gray-Code gewonnenen Weginformationen berücksichtigen, daß die einzelnen Ziffernfolgen hier die besonderen im Gray-Code definierten Bedeutungen haben, daß also 1111 hier der dezimalen 10 und nicht wie im Dualzahlensystem der 15 entspricht. Häufig wird die im Gray-Code gewonnene Weginformation gleich anschließend in einen anderen Code umcodiert, um damit eine leichtere Weiterverarbeitung zu ermöglichen.

Merke:
Codes müssen der Aufgabenstellung angepaßt sein.

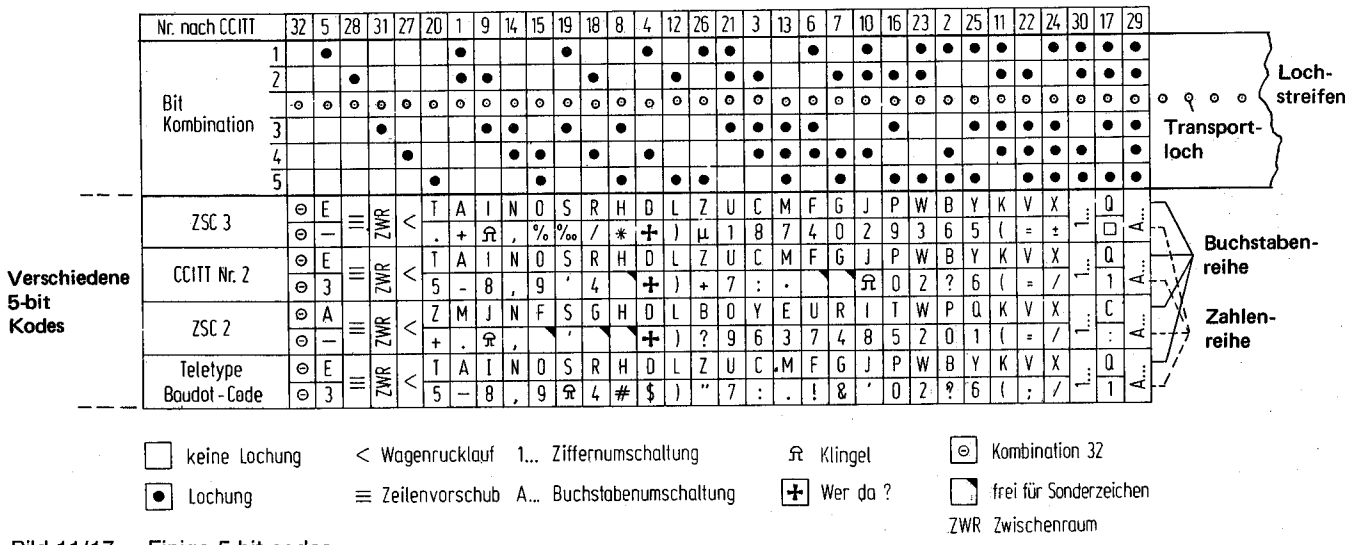


Bild 11/17. Einige 5-bit-codes.
(*Hofer, H.*: Datenfernverarbeitung. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verl. 1973).

Auch an den Fernschreibcode stellt man eine besondere Anforderung. So sollen die am häufigsten vorkommenden Buchstaben, wie z.B. E und T, möglichst einfach, d.h. mit möglichst vielen Nullen, codiert werden. Dementsprechend hat man für den Buchstaben E in dem international gebräuchlichen CCITT-2-Code die Verschlüsselung L0000 und für T die Kombination 0000L gewählt. Der erwähnte CCITT-2-Code und einige andere 5-bit-Codes sind in Bild 11/17 aufgeführt. Hier wird gezeigt, wie die einzelnen Zeichen der Codes auf einem Lochstreifen verschlüsselt werden. Mit 5 Bit kann man 2^5=32 Zeichen verschlüsseln. Um mehr als 32 Zeichen verschlüsseln zu können, weist das Fernschreibalphabet noch eine Besonderheit auf, nämlich die Umschaltung zwischen Buchstaben (Taste A ...) und Ziffern oder anderen Sonderzeichen (Taste 1....). Wenn zuvor die Buchstabenumschaltung betätigt wurde, bedeuten alle nachfolgenden Lochungen auf dem Lochstreifen so lange Buchstaben, bis die Ziffernumschaltung betätigt wird.

So bedeutet z. B. das Codewort L0000 im CCITT-2-Code entweder den Buchstaben T oder die Ziffer 5, je nachdem ob das vorhergehende Codewort A ... oder 1... war.

Übung 11/2

Die vier Zeichen *A*, *B*, *C* und *D* sollen binär mit je 2 bit codiert werden. Wie ist die Codierung zu wählen, wenn bei der Übertragung einer größeren Menge dieser vier Zeichen möglichst wenig L-Bits vorkommen sollen und die Zeichen *A*, *B*, *C* und *D* mit einer relativen Häufigkeit von 10%, 20%, 20% und 50% auftreten?

Anmerkung: Unter der relativen Häufigkeit in Prozent eines zu verschlüsselnden Zeichens *x* in einer zu übertragenden Information versteht man das Verhältnis

$$H(x) = \frac{N(x)}{N} \cdot 100\ \%$$

mit

$N(x)$ = Anzahl mit der das Zeichen *x* in einer zu übertragenden Information auftritt, und

N = Summe der Zeichen in einer zu übertragenden Information,

z.B. tritt in dem Wort „DIGITALTECHNIK" der Buchstabe I mit einer relativen Häufigkeit von

$$H(I) = \frac{N(I)}{N} \cdot 100\ \% = \frac{3}{14} \cdot 100\ \% = 21{,}4\ \%$$

auf.

Übung 11/3

Wie groß ist im Mittel das Verhältnis von L- zu 0-Bits bei Codierung nach Übung 11/2?

Bild 11/18. Fehlerhafte Informationsübertragung.

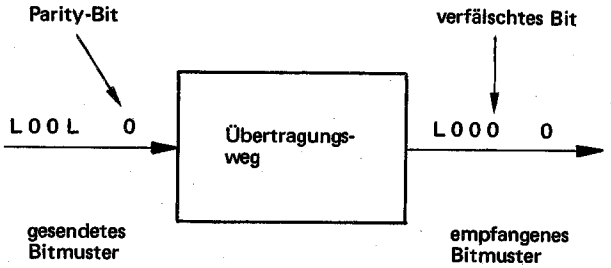


Bild 11/19. Fehlererkennung mit Parity-Bit.

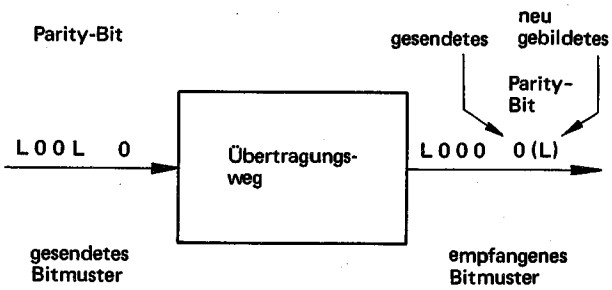


Bild 11/20. Fehlererkennung mit neugebildetem Parity-Bit.

Übertragungsfehler sollen erkannt werden

Obwohl die digitale Übertragungstechnik sehr störsicher ist, kann es trotzdem vorkommen, daß einzelne Bits eines Bitmusters bei der Übertragung verfälscht werden, z.B. durch die induktive Einstreuung beim Einschaltvorgang eines Motors. Man muß sich also überlegen, wie man sich gegen die Auswirkung von derartigen Übertragungsfehlern schützen kann.

Es wird dabei so vorgegangen, daß man zunächst die übertragene Information daraufhin überprüft, ob sie fehlerbehaftet ist. Erst wenn man erkannt hat, daß dies nicht der Fall ist, wird die Information weiter verarbeitet.

Wie erkennt man jedoch, ob eine Information richtig oder falsch übertragen wurde? Eine häufig angewandte Methode stellt der sog. „Parity-Check" dar. Was man sich unter diesem Fachausdruck vorzustellen hat, soll das folgende Beispiel erklären.

Es soll, wie in Bild 11/18 dargestellt, beispielsweise die Dezimalzahl 9, der als Dualzahl die Bitfolge L00L zugeordnet ist, auf dem Übertragungsweg zu L000 verfälscht werden. Diese empfangene Bitfolge wird, ohne zusätzliche Maßnahmen, natürlich als dezimale 8 interpretiert und weiterverarbeitet. Nach der Methode des Parity-Checks wird der digitalen Information nun ein weiteres Bit, das sog. „Parity - Bit", angefügt. Der Wert dieses Bits wird so bestimmt, daß sich in dem neuen Wort insgesamt eine gerade Anzahl von L-Bits ergibt.

Die im Beispiel gesendete Zahl L00L wird also durch das Parity-Bit mit dem Wert 0 ergänzt, wie Bild 11/19 zeigt.

Zur Fehlererkennung wird nun der Parity-Check durchgeführt. Es wird nachgeprüft, ob das empfangene Wort eine gerade Anzahl von L-Bits enthält. Ist dies nicht der Fall, so liegt mit Sicherheit ein Übertragungsfehler vor.

Der Empfänger kann dann beispielsweise die Wiederholung der gesendeten Information veranlassen.

Abweichend von dem in dem Beispiel geschilderten Parity-Check-Verfahren werden häufig auch andere ähnliche Methoden angewendet. So wird das Parity-Bit oft auch so bestimmt, daß die Anzahl der L-Bits des gesamten Wortes ungerade ist.

Häufig wird auch der eigentliche Parity-Check derart durchgeführt, daß man entsprechend Bild 11/20 aus dem empfangenen Bitmuster ausschließlich des Parity-Bits ein neues Parity-Bit bildet, das dann mit empfangenen verglichen wird. Stimmen beide nicht überein, so liegt ein Übertragungsfehler vor. Es ist klar, daß das vorstehende Verfahren des Parity-Checks nur dann funktionieren kann, wenn eine ungerade Anzahl von Bits verfälscht wurde. Sinnvoll ist das Verfahren jedoch nur dann, wenn mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mehr als ein Bit verfälscht wird.

Merke:
Der Parity-Check dient der Fehlererkennung.

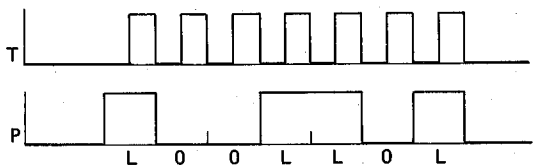
Übung 11/4 ?

Prüfung auf Parität.

a) Wie könnte man bei einer seriell einlaufenden Folge von 7 bit möglichst einfach prüfen, ob die Anzahl ankommender L gerade ist? Das Ergebnis der Prüfung soll nach Einlaufen der 7 bit als Stellung eines Flip-Flops verfügbar sein:

L ≙ keine Parität, 0 ≙ Parität.

Verfügbar ist außer der Bitserie *P* ein Takt *T*, z.B.:



b) Wie könnte eine Schaltung aussehen, die am Ausgang F immer dann ein L-Signal erzeugt, wenn empfangenes (A) und neugebildetes (B) Parity-Bit voneinander abweichen?

Übung 11/5 ?

Zur binären Verschlüsselung der Dezimalzahlen 0...9 werden häufig sog. „tetradische" Codes verwendet, das sind Codes mit 4 bit je verschlüsseltem Zeichen. Bestimmte Übertragungsfehler können hierbei auch ohne Parity-Bit erkannt werden. Welche sind dies?

Um die Fehlererkennung zu vereinfachen, bedient man sich spezieller Codes.

Ein sehr gebräuchlicher, prüfbarer Code ist der Walking-Code. Er sieht folgendermaßen aus:

0	=	0	0	0	L	L		5	=	L	0	L	0	0
1	=	0	0	L	0	L		6	=	L	L	0	0	0
2	=	0	0	L	L	0		7	=	0	L	0	0	L
3	=	0	L	0	L	0		8	=	L	0	0	0	L
4	=	0	L	L	0	0		9	=	L	0	0	L	0.

Man sieht, daß die Verschlüsselung einer jeden Dezimalzahl zwei L-Bits enthält, d.h. das Parity-Bit besitzt immer den gleichen Wert 0.

Allgemein kann gesagt werden, eine zu übertragende Information ist „redundant" codiert, wenn das übertragene Wort mehr Bitstellen hat, als zur Kodierung des vorgegebenen Zeichenvorrates unbedingt nötig wären. Im folgenden wird gezeigt, wie solche Redundanzen zur Fehlererkennung und -korrektur ausgenützt werden.

Übung 11/6 ?

Was ist Redundanz?

Fehler werden korrigiert

Wenn man die bei Übertragungsoperationen möglicherweise auftretenden Fehler nicht nur erkennen, sondern auch am Empfangsort gleich wieder korrigieren will, aus fehlerhaften Codewörtern also wieder richtige erzeugen will, so muß man auf korrigierbare Codes zurückgreifen. Es gibt mehrere Korrekturverfahren, von denen hier eines beschrieben werden soll. Es ist dies die bereits angeführte Übertragung mehrerer Codewörter in einem Block. Die zweite Methode stützt sich auf die Verwendung sog. Hamming-Codes. Diese Codierung ist in der Praxis nur selten anzutreffen und soll deshalb hier auch nicht näher betrachtet werden.

Blockübertragung

Bei dieser Art der Codewortübertragung werden mehrere Codewörter eines prüfbaren Codes zu einem Block zusammengefaßt und jedem Block noch ein Prüfwort hinzugefügt, Bild 11/21.

Es soll z. B. eine Anzahl Zeichen, etwa die Zahl 512317 korrigierbar übertragen werden. Der benutzte Code sei der Walking-Code. Die Codewörter für 5, für 1, für 2 usw. werden nacheinander übertragen, Bild 11/21.

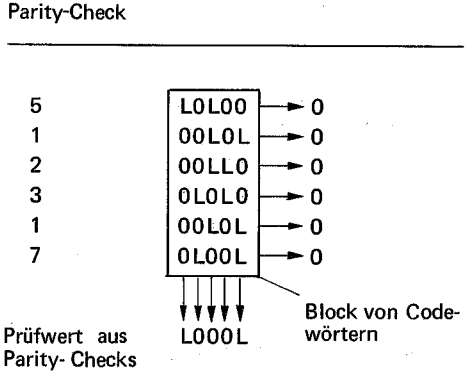


Bild 11/21. Blockübertragung.

Im Anschluß hieran wird noch ein Prüfwort übertragen, dessen einzelne Bits (sog. Parity-Checks) auf folgende Weise gebildet werden:

Die Anzahl der in den einzelnen Spalten des Blocks auftretenden L-Bits wird durch den entsprechenden Parity-Check des Prüfwortes auf eine gerade Zahl ergänzt. Wenn also die Anzahl der L-Bits in einer Spalte gleich 3 ist (letzte Spalte des Beispiels), so muß der Parity-Check des Prüfwortes an dieser Stelle ein L sein, so daß in dieser Spalte dann insgesamt vier L-Bits, also eine gerade Anzahl L-Bits auftauchen. Ist diese Anzahl ohne den Parity-Check des Prüfwortes in einer Spalte bereits eine gerade, so wird der Parity-Check des Prüfwortes in dieser Spalte gleich 0.

Am Empfangsort wird nun eine Fehlerprüfung und -korrektur nach folgender Methode vorgenommen. Der Block wird zunächst in horizontaler Richtung auf Fehler geprüft, indem in jede Zeile des Blocks ein Parity-Check 0 gesetzt wird, wo die horizontale Anzahl von L-Bits gleich 2 ist. Ist die horizontale Anzahl von L-Bits in einem Codewort des Blocks nicht gleich 2, so wird ein Check L gesetzt. Hierdurch wird angezeigt, daß dieses Codewort fehlerbehaftet angekommen ist. Am Empfangsort wird weiterhin aber auch noch das Prüfwort neu gebildet und mit dem übertragenen Prüfwort verglichen. Ist nun innerhalb des übertragenen Blocks ein Bit falsch übertragen worden, so wird die fehlerhafte Zeile durch einen horizontalen Parity-Check mit dem Wert L angezeigt. Die fehlerhafte Spalte wird dadurch angezeigt, daß das betreffende Prüfwortbit in dieser Spalte im neu gebildeten Prüfwort einen anderen Wert aufweist als im übertragenen Prüfwort. Hierdurch ist das fehlübertragene Bit eindeutig lokalisiert und kann, wenn es den Wert L hatte zu 0, wenn es den Wert 0 hatte zu L korrigiert werden.

An dieser Stelle kann man einen weiteren großen Vorzug binärer Systeme erkennen. Ist die Fehlerhaftigkeit einer binären Ziffer bekannt, so ist bereits aus dieser Kenntnis die richtige Ziffer zu ermitteln. Wenn also bekannt ist, daß in dem Codewort L0000 die letzte 0 falsch ist, so ergibt sich hieraus sofort das richtige Codewort L000L. Hat man dagegen eine nichtbinäre Information, etwa die Dezimalzahl 327, und weiß, daß die erste Ziffer 3 falsch ist, so kann aus dieser Kenntnis allein noch nicht die richtige Information gebildet werden. Für eine Fehlerkorrektur bei Blockübertragung sei ein Beispiel anhand von Bild 11/22 durchgeführt.

		Parity-Check
5	L0L00	0
1	00L0L	0
2	00LL0	0
3	0(0)0L0	L ← Zeile mit Fehler
1	00L0L	0
7	0L00L	0
übertragenes Prüfwort	L000L	
neu bestimmtes Prüfwort	LL00L	
	↑ Spalte mit Fehler	

Bild 11/22. Blockübertragung, fehlerbehaftete Bits werden erkannt.

In dem Codewort für 3 in der blockübertragenen Information ist an der zweiten Stelle statt des richtigen L eine 0 empfangen worden. Der Parity-Check in dieser Zeile ist L und gibt die Zeile an, in der der Fehler zu suchen ist. Die zweiten Stellen des übertragenen und des neu bestimmten Prüfwortes sind verschieden und geben damit an, daß in der zweiten Spalte ein Fehler zu suchen ist. Das hierdurch bestimmte falsche Bit (0) kann zu L korrigiert werden.

Selbstverständlich können auch mehrere Fehler eines Blocks in gleicher Weise korrigiert werden, solange sie in verschiedenen Zeilen und Spalten des Blocks auftreten. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß auch ein im Prüfwort selbst auftauchender Fehler korrigiert werden kann.

In einer Zeile oder Spalte auftretende Mehrfachfehler können nicht mehr korrigiert, wohl aber angezeigt werden.

Codes werden umgesetzt

Es wurde bereits in einem vorausgegangenen Kapitel erwähnt, daß es sinnvoll ist, für bestimmte Zwecke spezielle Codes zu verwenden. Deshalb müssen z.B. vor der Übertragung gemessener Daten oder vor der Weiterverarbeitung übertragener Daten häufig Codeumsetzer eingesetzt werden. Ein derartiger Codeumsetzer dient zur Umwandlung einer in einem gegebenen Code vorliegenden digitalen Information in einen anderen Code.

Anknüpfend an das zuvor behandelte Beispiel der Positionserfassung eines Drehbanksupports soll nun ein Codeumsetzer von Gray – in Dual-Code entwickelt werden. Beide Codes sind in Bild 11/23 gegenübergestellt. Aus dieser Tabelle, die man auch als Funktionstabelle bezeichnet, müssen nun die Schaltfunktionen

$$x_1 = f_1\,(y_1, y_2, y_3, y_4)\,^*)$$
$$x_2 = f_2\,(y_1, y_2, y_3, y_4)$$
$$x_3 = f_3\,(y_1, y_2, y_3, y_4)$$

und

$$x_4 = f_4\,(y_1, y_2, y_3, y_4)$$

gewonnen werden, entweder unmittelbar oder unter Verwendung der entsprechenden Karnaugh-Diagramme.

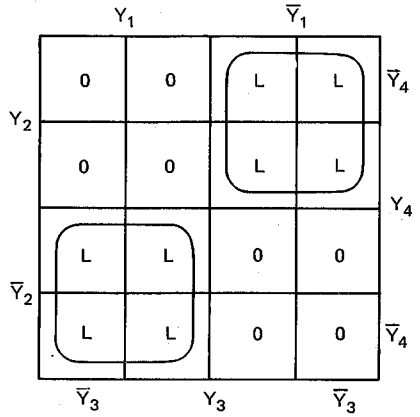
Aus Bild 11/23 kann sofort entnommen werden, daß die Funktionen y_1 und x_1 identisch sind. Es gilt also

$$x_1 = y_1.$$

Dezimal	Gray-Code $Y_1 Y_2 Y_3 Y_4$	Dual-Code $X_1 X_2 X_3 X_4$
0	0 0 0 0	0 0 0 0
1	0 0 0 L	0 0 0 L
2	0 0 L L	0 0 L 0
3	0 0 L 0	0 0 L L
4	0 L L 0	0 L 0 0
5	0 L L L	0 L 0 L
6	0 L 0 L	0 L L 0
7	0 L 0 0	0 L L L
8	L L 0 0	L 0 0 0
9	L L 0 L	L 0 0 L
10	L L L L	L 0 L 0
11	L L L 0	L 0 L L
12	L 0 L 0	L L 0 0
13	L 0 L L	L L 0 L
14	L 0 0 L	L L L 0
15	L 0 0 0	L L L L

Bild 11/23. Gegenüberstellung von Gray- und Dual-Code.

*) $x_1 = f_1\,(y_1, y_2, y_3, y_4)$ bedeutet:
Der Zustand der abhängigen Variablen X hängt vom Zustand der unabhängigen Variablen y_1 bis y_4 ab (lies x_1 gleich Funktion von y_1, y_2, y_3, y_4).



$$X_2 = (\overline{Y}_1 \wedge Y_2) \vee (\overline{Y}_2 \wedge Y_1)$$

Bild 11/24. KV-Diagramm der Schaltfunktion x_2.

Bild 11/24 zeigt das Karnaugh-Diagramm für die Funktion x_2. Daraus kann nach den bekannten Regeln bestimmt werden:

$$x_2 = (y_2 \wedge \overline{y}_1) \vee (\overline{y}_2 \wedge y_1).$$

Die Schaltfunktionen x_3 und x_4 lassen sich in ähnlicher Weise bestimmen. Im vorliegenden Fall ist es jedoch einfacher, die Schaltfunktionen unmittelbar aus der Funktionstabelle zu entnehmen, s. a. Bild 11/23. Es ergibt sich dann:

$$x_3 = (y_3 \wedge \overline{x}_2) \vee (\overline{y}_3 \wedge x_2)$$
$$x_4 = (y_4 \wedge \overline{x}_3) \vee (\overline{y}_4 \wedge x_3).$$

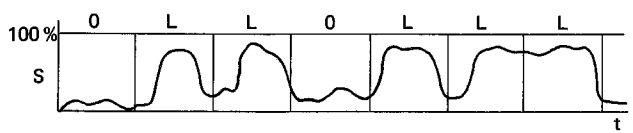
Übung 11/7 **Formale Übung**

Wie sieht die Realisierung der Schaltfunktionen $X_1 \ldots X_4$ (S. 291) in NAND-Technik aus. Es wird vorausgesetzt, daß sowohl die Signale Y als auch ihre Umkehrungen $\overline{Y}$ zur Verfügung stehen (insgesamt acht Eingänge).

Übung 11/8 **Fallstudie**

Impulsregeneration.

Das folgende Bild zeigt in einem Zeitraster ein stark verrauschtes Signal, das die angegebene Bitserie repräsentiert.



a) Ergänzen Sie folgende Aussagen:

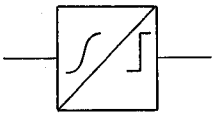
1. Repräsentiert S das 0-Signal, so erreicht der Signalpegel während der gesamten Taktzeit nicht mehr als___% des Sollwertes für L-Signal.
2. Repräsentiert S das L-Signal, so liegt der Signalpegel während _____nicht unterhalb____% des Sollwertes für L-Signal.

b) Es sei vorausgesetzt, daß die Aussage aus Übung 11/8 a) garantiert werden kann. Wie könnte man eine Regenerationsschaltung mit folgender Funktion bauen?

1. Bei Überschreitung von 66 % des L-Pegels wird der Sollwert von L erzeugt, bei Unterschreiten von 33 % der Sollwert von 0 (Schwellwertschalter).

2. Das L-Signal wird bis Ende der jeweiligen Taktzeit auf Soll-Pegel gehalten. Dieses „verlängerte" Signal wird zur Vorbereitung eines Flip-Flops benutzt.
3. Das Flip-Flop wird zu Beginn des nachfolgenden Taktes je nach Wert des „verlängerten" Signals gesetzt oder rückgestellt.

Es ist ein dem Zeitraster entsprechender Taktimpuls T verfügbar mit fallender Flanke zu Beginn und steigender zur Mitte einer Taktzeit. Zum Entwurf der Regenerationsschaltung soll folgendes Schaltsymbol für den Schwellwert-Schalter benutzt werden:



c) Zeichnen Sie einen Signal-Zeit-Plan für die Signale S, S_1, T, S_2 und S^* ausgehend von dem in Übung 11/8 gegebenen Signal-Zeit-Plan von S.

12. Numerisch gesteuerte Maschinen

Im Zuge fortschreitender Automatisierung von Arbeitsprozessen ist man bestrebt, Maschinen mit Steuerungen auszustatten, die einen mehr oder weniger selbsttätigen Ablauf der gewünschten Arbeitsvorgänge ermöglichen. Solche Maschinensteuerungen werden heute überwiegend als digital arbeitende Einrichtungen ausgeführt, weil die digitale Verarbeitung von Informationen auch bei der hier angesprochenen Problemstellung erhebliche technische und wirtschaftliche Vorteile bringt (s. Kapitel 1). Maschinen mit z.T. recht umfangreichen digital arbeitenden Steuerungen sind seit etwa zwei Jahrzehnten vor allem als Werkzeugmaschinen in der industriellen Fertigung anzutreffen. In diesem Anwendungsbereich nennt man sie meist NUMERISCH GESTEUERTE MASCHINEN oder NC-MASCHINEN (NC: Abkürzung für den amerikanischen Ausdruck „numerical controlled"). Sie haben in relativ kurzer Zeit einen bemerkenswerten Entwicklungsstand erreicht und erfahren eine immer breitere Anwendung, Bild 12/1.

Mit numerischen Steuerungen werden z.B. Bohrmaschinen, Fräsmaschinen, Drehmaschinen und Schweißmaschinen ausgestattet. Aber auch Stanzmaschinen zur Blechbearbeitung, Zeichenmaschinen zum Herstellen technischer Zeichnungen und beliebiger anderer Grafiken, Verdrahtungsmaschinen für elektrische Schaltanlagen und auch Textilmaschinen werden, wenn es sich wirtschaftlich lohnt, mit numerischen Steuerungen versehen.

Die Bezeichnung „numerisch gesteuert" ist darauf zurückzuführen, daß gewöhnlich die Informationen, die einer digital arbeitenden Maschinensteuerung eingegeben werden sollen, von vornherein und überwiegend in numerischer Form vorliegen, nämlich in Form von Zahlenausdrücken. Diese knappe numerische Formulierung der Steuerungsinformationen ist für die Datenverarbeitung nur von Vorteil, denn sie erleichtert das weitere Umformen dieser Informationen in maschinengerechte Signale, d.h. in binäre Signale.

Nur Signale in binärer Form können von den Maschinensteuerungen verarbeitet werden – mit digitalen Wirkungsgliedern und nach digitaltechnischen Prinzipien, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln dieses Buches beschrieben wurden.

Numerische Steuerungen bestehen als digital arbeitende Einrichtungen im wesentlichen aus logischen Verknüpfungsschaltungen und sequentiell arbeitenden Funktionseinheiten wie Zählern und Speichern; hinzu kommen Dateneingabe- und Meßeinrichtungen und Anschlußeinrichtungen für die verschiedenen Maschinenantriebe.

Der technische Umfang numerischer Steuerungen hängt von den Arbeitsaufgaben ab, für die sie im konkreten Fall eingesetzt werden sollen.

Am verbreitetsten sind heute Steuerungseinrichtungen, denen alle erforderlichen Informationen mittels Lochstreifen eingegeben werden; auf diesen sind die Informationen in Form von Lochkombinationen binär gespeichert. So lassen sich recht umfassende, aus vielen Einzelschritten bestehende Arbeitsprogramme, z.B. das Bearbeiten eines kompliziert geformten Werkstückes auf einer Fräsmaschine, vollautomatisch abwickeln.

Für besondere Aufgaben werden sogar Computer sowohl zum Erstellen als auch zur Eingabe der Steuerungsprogramme herangezogen.

Häufig jedoch lassen sich schon mit vergleichsweise einfachen numerischen Steuerungen, bei denen die Dateneingabe z.B. nur von Hand über entsprechende Schaltereinheiten erfolgt, beträchtliche produktionstechnische Verbesserungen erreichen.

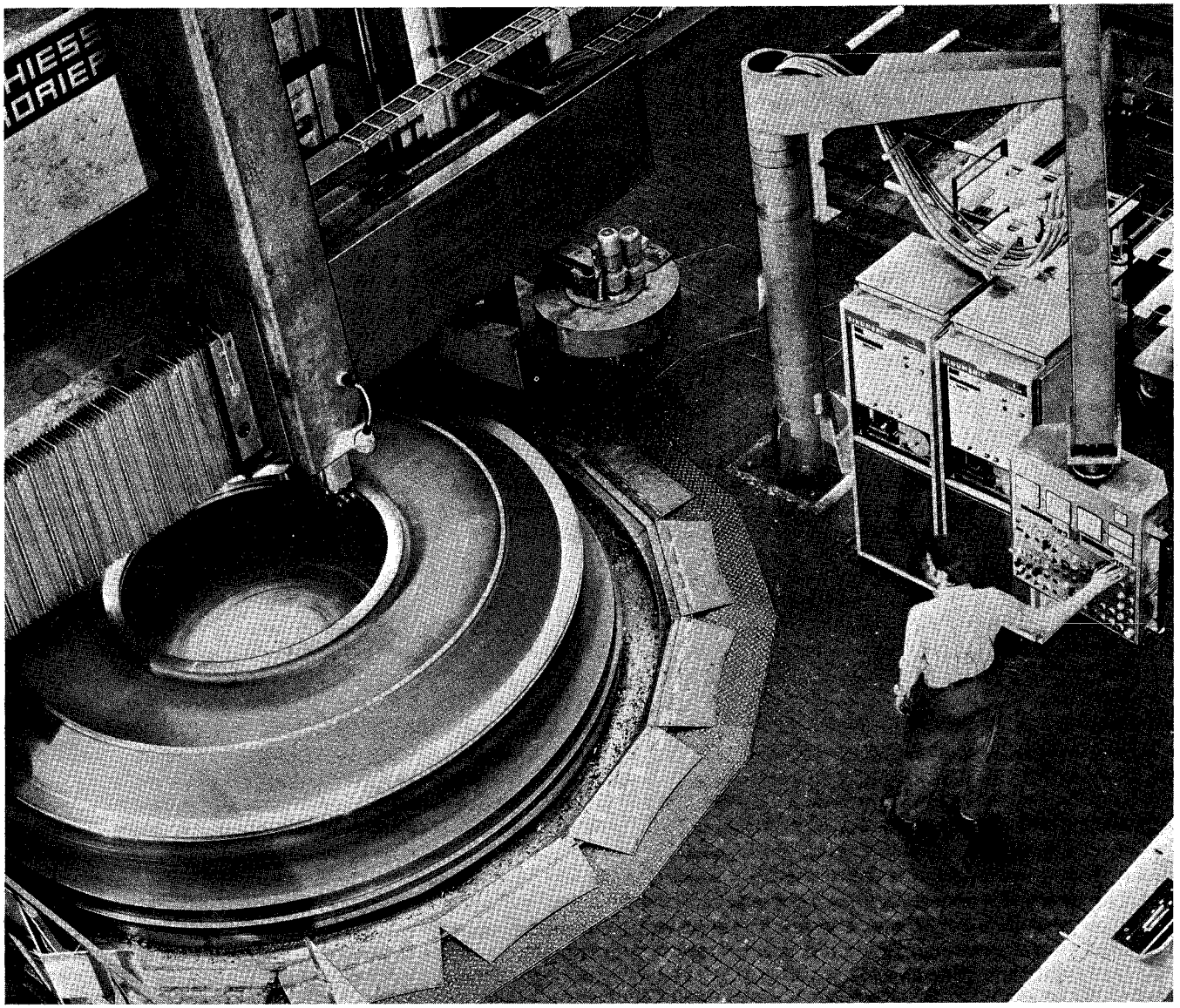


Bild 12/1. Numerisch gesteuerte Karussel-Drehmaschine zur Bearbeitung großer Drehteile.
Rechts Steuerpendel zur manuellen Eingabe von Steuerbefehlen und Steuerschränke zur Eingabe numerischer Daten mittels Lochstreifen.

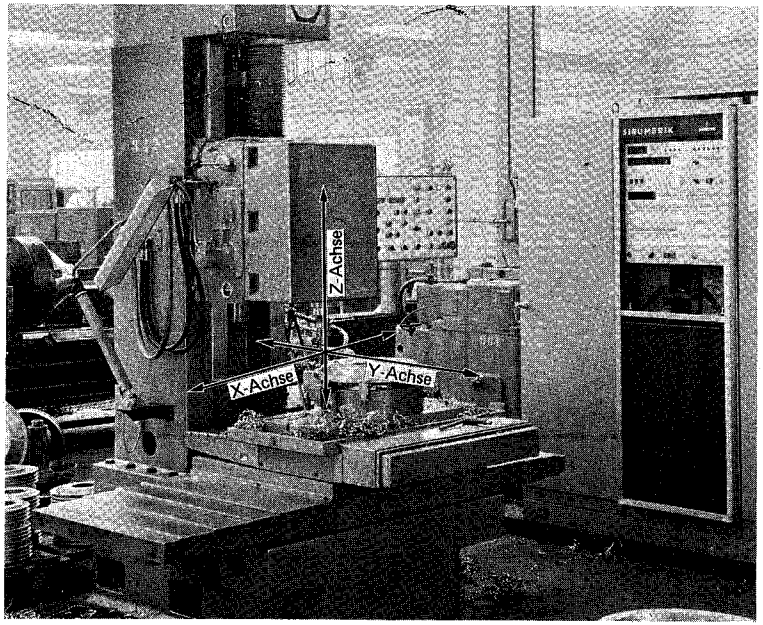


Bild 12/2. Numerisch gesteuerte Bohrmaschine mit eingetragenen Richtungskoordinaten zur Veranschaulichung der Bewegungsmöglichkeiten des Maschinenschlittens (*X*- und *Y*-Achse) und des Bohrwerkzeuges (*Z*-Achse).
Rechts im Bild der Schaltschrank mit der numerischen Steuerung.

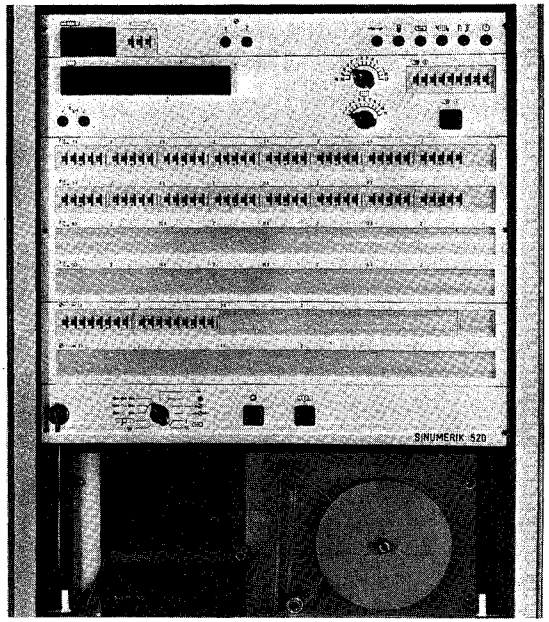


Bild 12/3. Beispiel für das Bedienungsfeld eines Steuerschrankes zur numerischen Steuerung von Werkzeugmaschinen.
Im oberen Teil befinden sich Dekadenschalter zur Handeingabe von Daten, im unteren Teil eine Lochstreifen-Leseeinrichtung.

Ein Beispiel hierzu:

Wenn bei einer Bohrmaschine, Bild 12/2, das Einstellen des Werkstücks auf die verschiedenen vorgesehenen Bohrpositionen in herkömmlicher Weise, also manuell, erfolgt, sind erhebliche Meß-, Anreiß- und Einrichtarbeiten erforderlich, die von qualifiziertem Fachpersonal ausgeführt werden müssen.

Diese Arbeiten lassen sich nahezu vollständig einsparen, wenn die Bohrmaschine mit einer numerischen Steuerung ausgestattet wird, die das Einstellen des Werkstücks auf die verschiedenen geforderten Bohrpositionen übernimmt. Selbstverständlich ließen sich außer diesem Arbeitsvorgang auch weitere Arbeitsschritte zum Bearbeiten des Werkstücks automatisieren, z.B. das Bohren selbst und der Wechsel der Werkzeuge. Aber nicht immer bringt die Vollautomatisierung gegenüber einer Teilautomatisierung so erhebliche wirtschaftliche Vorteile, daß sich dieser Mehraufwand an Investitionskosten lohnen würde.

Ist also nur das Einstellen des Werkstücks auf bestimmte Bohrpositionen als automatisierter Vorgang vorgesehen, so benötigt eine Maschinensteuerung relativ wenige Daten, deren Eingabe nicht mittels Lochstreifen, sondern zweckmäßigerweise manuell, z.B. mit Hilfe dekadischer Vorwahlschalter (s. Kapitel 10 und Bild 12/3) erfolgen kann. Bei einer solchen Steuerung muß eine Bedienungsperson außer der Eingabe der Positionsdaten zur Positionierung des Werkstücks nur noch durch Knopfdruck den Startbefehl geben, um den automatisierten Einstellvorgang einzuleiten.

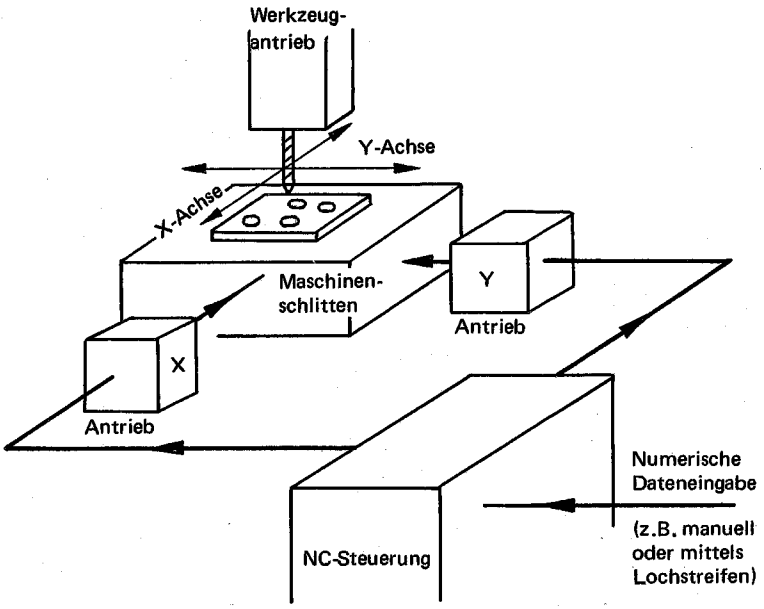


Bild 12/4. Blockschema zur Veranschaulichung des Prinzips einer Steuerung zum Einstellen eines Werkstücks auf bestimmte Arbeitspositionen bei einer Bohrmaschine.

Bevor jedoch der Bedienungsperson an der Bohrmaschine diese enorme Arbeitserleichterung geboten werden kann, muß der Digitaltechniker bei der Entwicklung der numerischen Steuerung eine Reihe von Problemen gelöst haben. Ausgangsbasis seiner Überlegungen ist hierbei stets eine Analyse der Aufgabenstellung. Diese ist im angenommenen Beispiel allerdings verhältnismäßig einfach, da es nur um die Positionierung eines Werkstückes in einer Ebene geht. Jede gewünschte Position in einer Ebene kann erreicht werden, wenn das Werkstück bzw. der Maschinenschlitten, auf dem das Werkstück befestigt ist, in zwei sich kreuzenden Richtungen bewegt werden kann, die gewöhnlich als X- und Y-Richtung bezeichnet werden (Bild 12/2 und 12/4). Daraus folgt, daß zwei Antriebe erforderlich sind, für jede Richtung einer, Bild 12/4.

Geklärt werden muß auch die Frage, wie diese Antriebe das Werkstück ganz genau in die angestrebte Position bringen können. In der Praxis fordert man meist Hundertstelmillimeter-Genauigkeit oder gar Tausendstelmillimeter-Genauigkeit! Daraus ergeben sich sowohl antriebstechnische als auch meßtechnische Probleme für den Steuerungstechniker.

Diese und einige weitere bei numerischen Steuerungen auftretende Probleme sollen nun im einzelnen in den folgenden Abschnitten zusammen mit möglichen Lösungen erörtert werden; vor allem, weil sich damit die Gelegenheit bietet, die vielseitige Anwendbarkeit digitaltechnischer Prinzipien bezogen auf den Einsatz in der technischen Praxis zu zeigen.

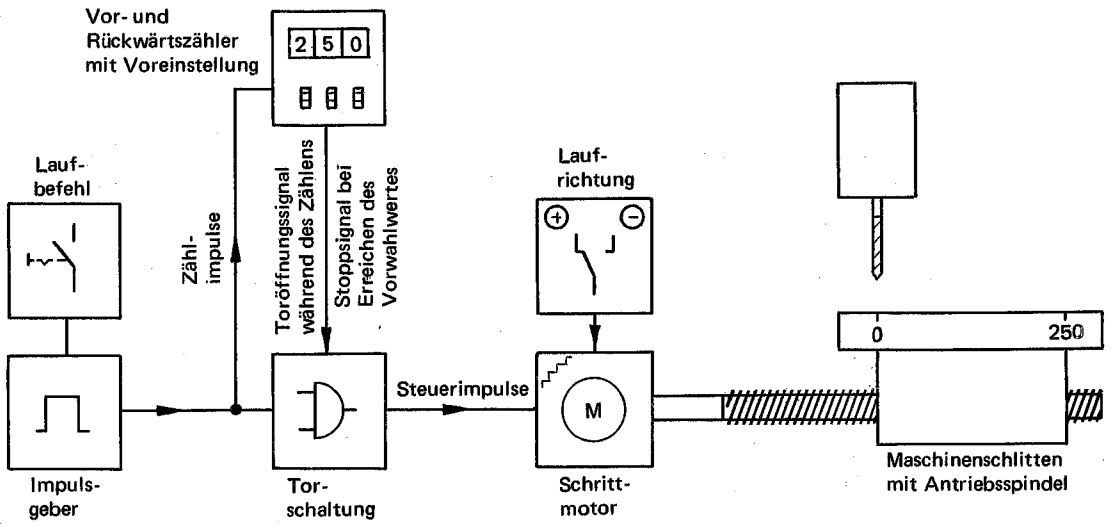


Bild 12/5. Schema einer Vorschubsteuerung mit Schrittmotor (offener Wirkungsablauf, keine Positionsrückmeldung).

Digitale Vorschubsteuerung: Schritt für Schritt ein Hundertstelmillimeter

Zuerst sei die Frage behandelt, wie die Bewegungen eines Maschinenschlittens in einer Richtung mit digitaltechnischen Mitteln, z. B. bis auf den Hundertstelmillimeter genau vollzogen werden können, Bild 12/5. Der Antrieb des Maschinenschlittens erfolgt durch einen Motor, dessen Drehbewegung über eine Spindel in die lineare Bewegung des Schlittens umgesetzt wird. Der Motor muß durch eine Steuerung so beeinflußt werden können, daß eine als Zahl eingegebene Positionsangabe mit der gewünschten Präzision erreicht wird.

In der Praxis werden für Vorschubbewegungen bei Maschinen sowohl verschiedenartige Antriebe als auch unterschiedliche Steuerungen verwendet. Hier sei zunächst auf ein Beispiel einer digitalen Vorschubsteuerung eingegangen, das eine vom Prinzip her einfache und leicht zu verstehende Lösung darstellt. Bei dieser Steuerung wird als Antrieb ein sog. Schrittmotor verwendet.

Dieser Motor rotiert, wie seine Bezeichnung ausdrückt, in exakt festgelegten Schritten, wenn er Stromimpulse bekommt. Das Schema eines elektrischen Schrittmotors ist in Bild 12/6 dargestellt. Ein Stator trägt einen Kranz von Elektromagneten, die durch elektronische Ansteuerung, z.B. mit Hilfe eines Ringzählers, nacheinander reihum erregt werden.

Dadurch entsteht im Motor ein schrittweise umlaufendes Magnetfeld, das den Rotor mit sich zieht.

Der Motor arbeitet somit digital. Ein Schritt ist die kleinste Bewegungseinheit, die er ausführen kann. Schrittmotor und Antriebsspindel können konstruktiv z.B. so aufeinander abgestimmt werden, daß bei einem Schritt des Motors

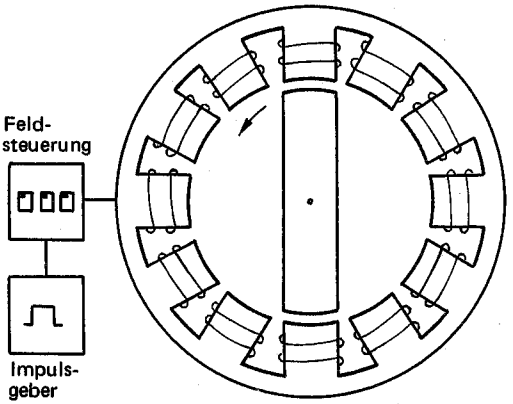


Bild 12/6. Zum Prinzip eines elektrischen Schrittmotors.

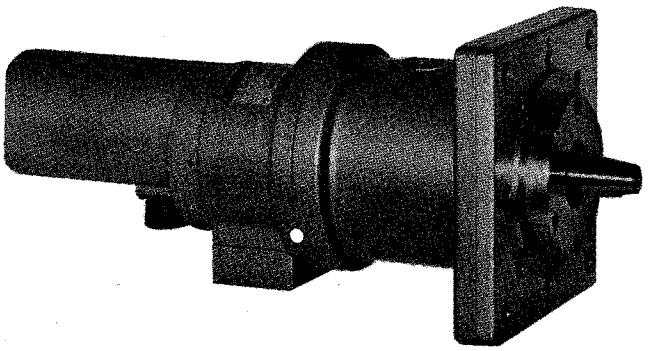


Bild 12/7. Elektro-hydraulischer Schrittmotor.

eine Schlittenbewegung von einem Hundertstelmillimeter erfolgt. Jeder Antriebsimpuls, der von der Steuerung gegeben wird, wird direkt in diese Grundwegeinheit umgesetzt. Die insgesamt zurückgelegte Schlittenbewegung hängt also von der absolut gegebenen Anzahl der Antriebsimpulse ab. Soll z.B. ein Weg von 250 mm auf den Hundertstelmillimeter genau verfahren werden, müssen 250 00 Impulse gegeben werden.

Die Steuerung des Schrittmotors ist deshalb recht einfach. Sie besteht im wesentlichen nur aus einem Impulsgeber und einem Vorwahlzähler, dem die angestrebte Position als Zahlenausdruck eingegeben wird. Der Zähler zählt die Anzahl der zum Erreichen einer Position erforderlichen Steuerimpulse ab und gibt den STOP-Befehl.

Soll die Bewegungsrichtung des Schlittens umgekehrt werden, muß die Drehrichtung des Schrittmotors umgeschaltet werden.

Da das mit einem elektrischen Schrittmotor erreichbare Drehmoment für die Anforderungen bei Werkzeugmaschinen meist nicht ausreichend ist, werden für diesen Anwendungsbereich elektro-hydraulische Schrittmotoren verwendet, Bild 12/7. Bei diesen Motoren steuert ein elektrischer Schrittmotor einen hydraulischen Drehmomentverstärker, auf dessen inneres Wirkungsprinzip hier nicht eingegangen werden soll. Durch den hydraulischen Verstärker werden die Antriebskräfte wesentlich größer, ohne daß damit eine Einbuße an Genauigkeit verbunden wäre.

Die Vorschubgeschwindigkeit bei einem Antrieb mit Schrittmotor ist von der Impulsfrequenz abhängig, mit der der Schrittmotor versorgt wird. Soll also die Vorschubgeschwindigkeit verändert werden, so kann dies durch die Veränderung der Antriebsimpulsfrequenz geschehen.

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt EV (DFVLR)
Forschungszentrum Braunschweig
Zentralbibliothek
38 Braunschweig, Flughafen

Übung 12/1 ?

Bei einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine soll der Schlitten im Eilgang mit einer Geschwindigkeit von 4800 mm/min bewegt werden können. Wie viele Schritte muß ein Schrittmotor a) je Minute, b) je Sekunde durchführen, wenn je Schritt ein Weg von 0,01 mm gefahren wird?

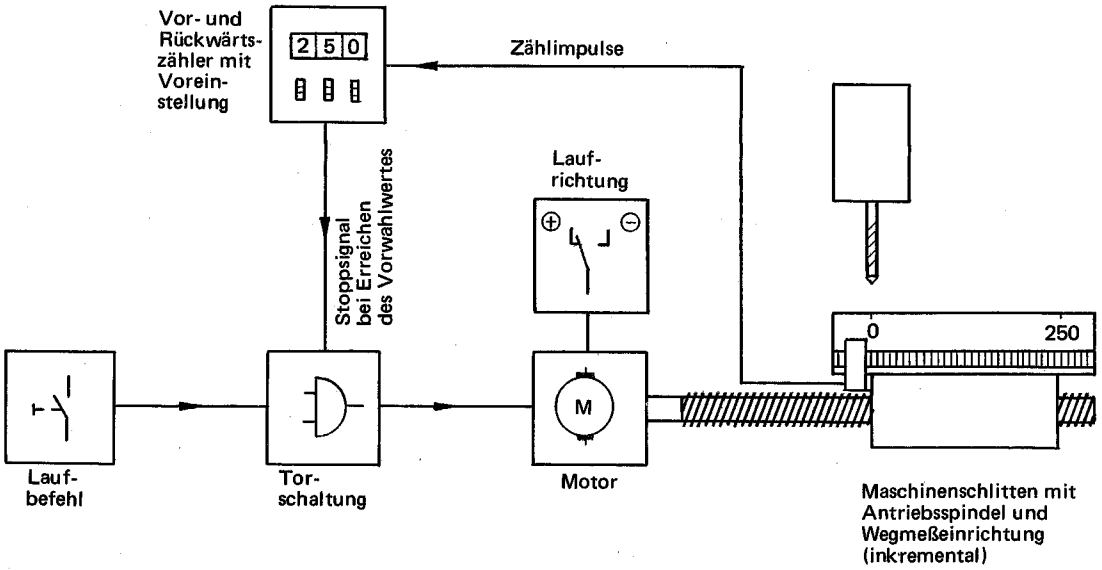


Bild 12/8. Schema einer Vorschubsteuerung mit drehzahlgeregeltem Gleichstrommotor und Wegmeßeinrichtung am Maschinenschlitten (geschlossener Wirkungsablauf, Positionsrückmeldung).

Vorschubsteuerung mit Inkremental-Wegmeßeinrichtung

Schrittmotoren sind nicht die einzigen möglichen Antriebe für Vorschubbewegungen bei numerisch gesteuerten Maschinen. Auch kontinuierlich arbeitende Antriebe, wie z.B. Gleichstrommotoren oder Hydraulikmotoren mit elektrisch gesteuerten Ventilen, werden verwendet.

Um mit diesen Antrieben das genaue Anfahren einer Position zu erreichen, muß unbedingt eine Meßeinrichtung vorhanden sein, die jede Position des Maschinenschlittens während des Verfahrvorganges und das Erreichen der Zielposition meldet.

Es gibt für die Wegmessung verschiedene Verfahren der Meßwerterfassung und -auswertung, und zwar sowohl analoge als digitale.

Hier soll zunächst nur das einfachste digitale Wegmeßverfahren beschrieben werden, Bild 12/8. Am Maschinenschlitten ist eine Einrichtung angebracht, die bei einer Fahrbewegung des Schlittens pro Wegeinheit einen Signalimpuls gibt. Die Impulse werden von einem Zähler gezählt. Die Summe der gezählten Impulse ist ein Maß für die zurückgelegte Wegstrecke. Der Zähler wird zur Steuerung des Antriebs auf die gewünschte Anzahl von Wegeinheiten, die vom Maschinenschlitten gefahren werden sollen, voreingestellt. Er zählt die während der Schlittenbewegung von der Meßeinrichtung gegebenen Impulse bis zur voreingestellten Anzahl ab und gibt dann das STOP-Signal für den Antrieb.

Das Abzählen von gleichen Wegeinheiten ist eigentlich das Aufnehmen von vielen einzelnen gleichen Kettenmaßen. Die aufaddierten Wegeinheiten werden als „Inkremente" bezeichnet, das Wegmeßverfahren heißt deshalb „Inkrementales Verfahren" (Inkrement (lat.): Kleiner Zuwachs einer Größe).

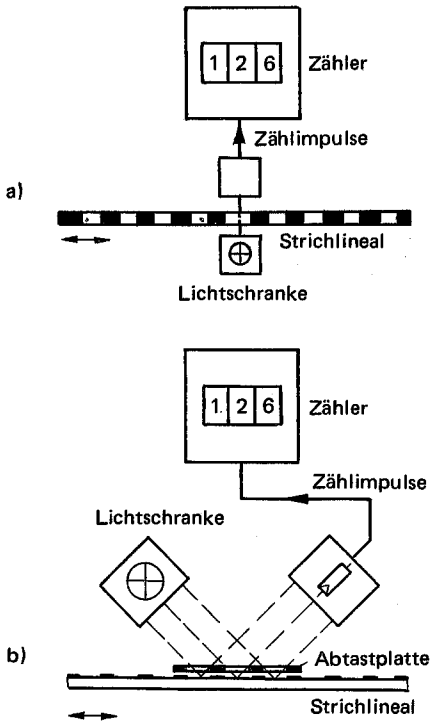


Bild 12/9. Inkrementale Wegmeßeinrichtung.
a) Durchlichtverfahren
b) Auflichtverfahren.

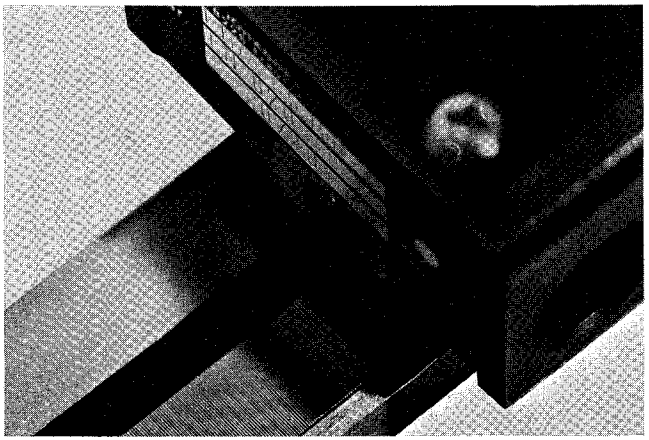


Bild 12/10. Strichlineal mit Abtasteinrichtung.

Das inkrementale Verfahren ist einfach und bietet die Möglichkeit, den Bezugspunkt für eine Messung beliebig festzulegen. Nachteilig ist, daß Störimpulse mitgezählt werden, wodurch das Meßergebnis verfälscht wird.

Das Erfassen der Weginkremente am Meßort kann z.B. mit folgender Einrichtung geschehen:

Am Maschinenschlitten ist ein lichtdurchlässiges Lineal angebracht, das eine gleichmäßige feine Stricheinteilung trägt. Die Striche und die lichtdurchlässigen Zwischenräume zwischen zwei Strichen sind gleich breit. Das Meßlineal wird fotoelektrisch mit einer Lichtschranke abgetastet. So oft bei einer Fahrbewegung des Maschinenschlittens der Lichtstrahl der Lichtschranke zwischen zwei Strichen hindurchdringen kann, wird ein Zählimpuls abgegeben. Man spricht vom Durchlichtverfahren, Bild 12/9a. Von der Linealeinteilung hängt u.a. die Auflösung des Meßergebnisses ab.

Beträgt der Abstand von einer Strichmitte zur nächsten z.B. einen Hundertstelmillimeter, so ist dieser Abstand die kleinste Wegmeßeinheit, auf die die Meßgenauigkeit bezogen werden kann. Durch schaltungstechnische Maßnahmen (z.B. Zählen der Signalwechsel) kann eine zusätzliche Auflösung des Maßstabes erreicht werden.

Da Glasmaßstäbe mechanisch empfindlich sind und eine andere Wärmeausdehnung als Stahl besitzen, werden häufiger geätzte Strichlineale aus Stahl verwendet, die nach dem Auflichtverfahren abgetastet werden. D.h., der Lichtstrahl der Lichtschranke fällt durch mehrere Schlitze einer Abtastplatte auf das Meßlineal und wird von den Zwischenräumen zwischen den Strichen jeweils reflektiert, von den Strichen selbst absorbiert, Bild 12/9b.

Zur Erhöhung der Betriebssicherheit, die z.B. durch teilweise Verschmutzung des Strichlineals beeinträchtigt werden kann, wird ein Linealabschnitt mit mehreren Strichen gleichzeitig abgetastet, s. a. Bild 12/10. Das Prinzip der Meßmethode bleibt dabei unverändert.

Übung 12/2 ?

Ist die inkrementale Wegmeßeinrichtung ein Digital/Analog-Umsetzer oder ein Analog/Digital-Umsetzer?

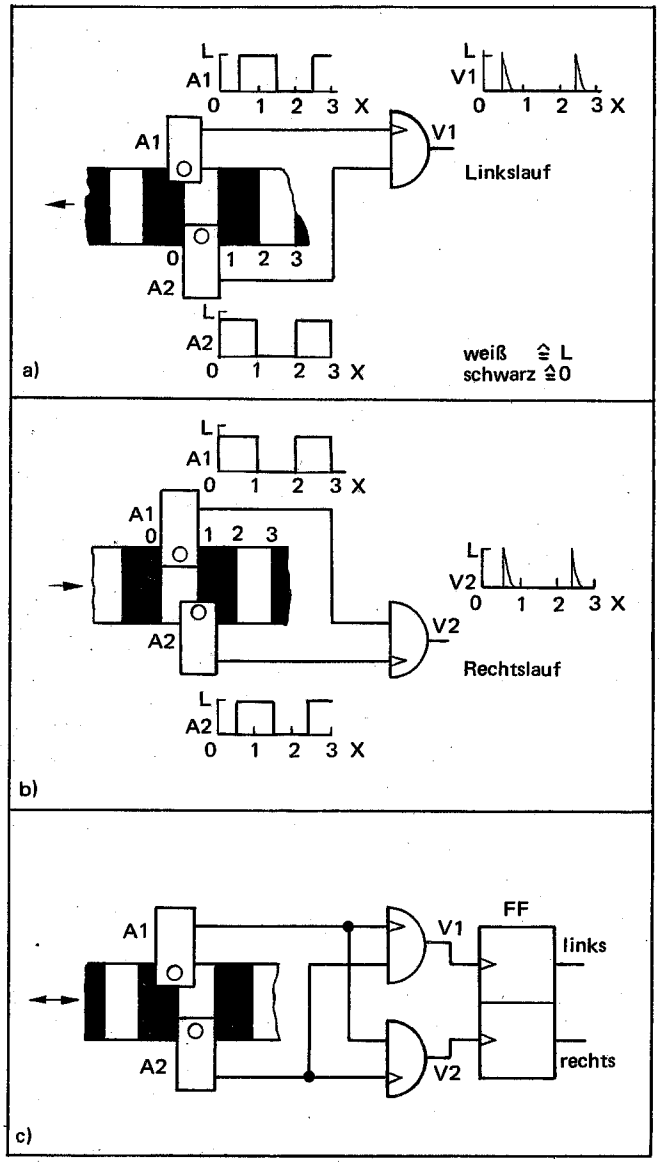


Bild 12/11. Prinzip einer Laufrichtungsanzeige.
A1, A2 Abtastköpfe; V1, V2 Verknüpfungsglieder mit je einem statischen und einem dynamischen Eingang.
a) Linkslaufanzeige.
b) Rechtslaufanzeige.
c) Links- und Rechtslaufanzeige.

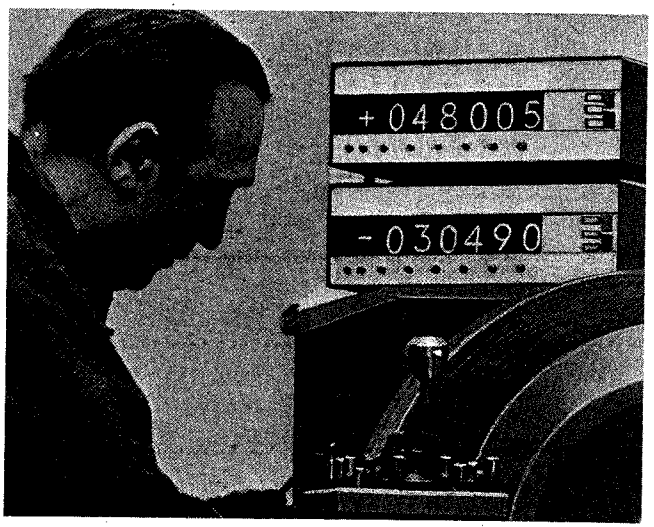


Bild 12/12. Numerische Positionsanzeige an einer Drehmaschine zum Erleichtern der Meß- und Einstellarbeiten.

Laufrichtungserkennung

Inkrementale Positionsmeßeinrichtungen werden nicht nur bei Maschinen mit numerischer Steuerung verwendet, sondern sie können zur Erleichterung der Meßarbeiten auch an herkömmlichen Fertigungsmaschinen montiert werden, Bild 12/12.

Wenn von einem beliebig festgelegten Nullpunkt aus Positionen angefahren werden sollen, ist es wünschenswert, neben der numerischen Positionsanzeige auch eine Laufrichtungsanzeige zu haben.

Eine Laufrichtungserkennung ist z.B. nach folgendem Prinzip möglich, Bild 12/11:

Über dem Strichlineal befinden sich zwei fotoelektrische Abtastköpfe, die um eine halbe Strichbreite gegeneinander versetzt sind. Auf diese Weise gibt einer der beiden Abtastköpfe ein L-Signal vom Meßlineal her jeweils um eine halbe Strichbreite eher als der andere.

Im Bild 12/11a ist für das Strichlineal eine nach links laufende Bewegung angenommen. In diesem Fall meldet der Abtastkopf A2 jedes L-Signal eher als der Abtastkopf A1 (weißes Feld ≙ L-Signal).

Das L-Signal vom Abtastkopf A2 wird auf den statischen Eingang des Verknüpfungsgliedes V1 geführt; Abtastkopf A1 ist mit dem Dynamikeingang (weißer Eingangspfeil) des Verknüpfungsgliedes verbunden (s.a. hierzu Kapitel 6). Am Ausgang des Verknüpfungsgliedes tritt immer nur dann ein kurzes, nadelförmiges L-Signal auf, wenn am statischen Eingang L-Signal anliegt und zusätzlich am dynamischen Eingang ein Signalwechsel von O auf L stattfindet. Die kurzen Ausgangsimpulse können zum Setzen eines Flip-Flops für eine Daueranzeige verwendet werden.

Wenn aber bei der Abtasteinrichtung nach Bild 12/11a eine Rechtsbewegung des Strichlineals erfolgt, dann wird der Abtastkopf A1 schon einen O-L-Signalwechsel an den dynamischen Eingang des Verknüpfungsgliedes V1 geben, bevor vom Abtastkopf A2 L-Signal an den statischen Eingang geliefert wird.

In diesem Fall erfolgt keine Laufrichtungsanzeige. Die Erkennung des Rechtslaufes ist erst durch eine Schaltung nach Bild 12/11b möglich. Bei dieser Schaltung ist der Abtastkopf A1 mit dem statischen Eingang, der Abtastkopf A2 mit dem dynamischen Eingang des besonderen Verknüpfungsgliedes (V2) verbunden.

In Bild 12/11c schließlich sind beide Einzelschaltungen für Links- und Rechtslauferkennung zusammengefaßt. An die Ausgänge der Verknüpfungsglieder V1 und V2 ist ein Flip-Flop als Signalspeicher angeschlossen, damit die jeweilige Laufrichtung kontinuierlich angezeigt werden kann.

Steuerung der Vorschubgeschwindigkeit

Wenn der Maschinenschlitten in eine bestimmte Arbeitsposition gebracht werden soll, so soll dies in der Regel möglichst schnell geschehen, um Zeit zu sparen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß wegen des Trägheitsmomentes der bewegten Massen über die angestrebte Position hinaus gefahren würde, wenn der schnelle Antrieb erst bei Erreichen der Zielposition abgeschaltet würde.

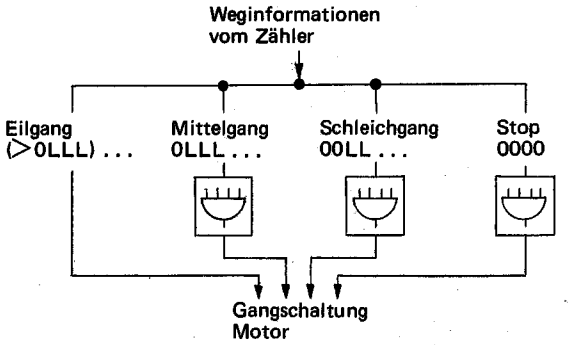


Bild 12/13. Zum Prinzip der stufenweisen Geschwindigkeitsminderung beim Anfahren einer Position.

Um dies zu vermeiden, muß die Fahrgeschwindigkeit rechtzeitig herabgemindert werden, bis schließlich der STOP-Befehl gegeben wird. Häufig geschieht das Herabmindern der Verfahrgeschwindigkeit in einigen Stufen über eine zum Antrieb gehörende Gangschaltung. Die Schaltinformationen für das Umschalten der Gänge, Bild 12/13, können z.B. einem Zähler entnommen werden, der beim Ansteuern der Zielposition vom eingestellten Wert auf Null zählt. Die günstigsten Schaltpunkte vor dem Ziel können für eine Maschine ermittelt und für alle Anfahrvorgänge vorgegeben werden.

Ein Beispiel aus der Praxis: Im Eilgang wird mit einer Geschwindigkeit von 4000 mm/min gefahren, 2 mm vor der Zielposition wird in den Mittelgang mit einer Geschwindigkeit von 40 mm/min geschaltet und ab 0,2 mm vor dem Ziel wird im Schleichgang mit einer Geschwindigkeit von 4 mm/min gefahren, bis der STOP-Befehl kommt.

Neben den in wenigen Stufen schaltbaren Antrieben gibt es andere, bei denen eine Geschwindigkeitsverminderung gleichsam stetig bis auf Null möglich ist.

Übung 12/3 ?

Bei einer Positioniersteuerung soll ein Weg von 260 mm gefahren werden. Welche Zeit wird für den Fahrvorgang benötigt, wenn bis 2 mm vor der Zielposition im Eilgang (4000 mm/min), dann bis 0,2 mm vor dem Ziel im Mittelgang (40 mm/min) und von 0,2 mm bis zum Ziel im Schleichgang (4 mm/min) gefahren wird?

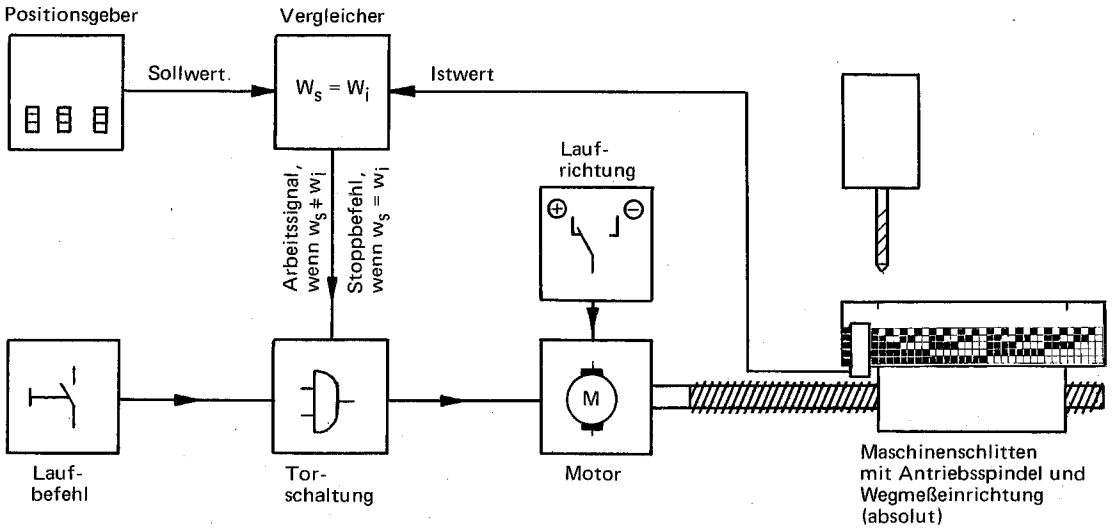


Bild 12/14. Schema einer Vorschubsteuerung mit drehzahlgeregeltem Motor und absoluter Wegmeßeinrichtung.

Vorschubsteuerung mit einer Absolut-Wegmeßeinrichtung

Beim absoluten Verfahren der digitalen Wegmessung trägt das Meßlineal keine einfache Stricheinteilung wie beim inkrementalen Verfahren, sondern eine mehrspurige Code-Einteilung, Bild 12/14. Die Code-Einteilung erlaubt es, mit Hilfe einer Ableseeinrichtung jede Schlittenposition bezogen auf einen absoluten Ausgangspunkt unmittelbar zu melden, ohne daß Zuwachseinheiten (Inkremente) gezählt werden müssen.

Auf dem Meßlineal wird jeder Wegschritt durch eine Kombination schwarzer und weißer Felder ausgedrückt. Jedem Wegschritt entspricht eine andere Felder-Kombination. Dies bedeutet: Die Wegschritte sind von einem Bezugspunkt aus fortlaufend in einem bestimmten Binär-Code numeriert. Die Anzahl der Spuren des Codes richtet sich nach der Länge des zu erfassenden Gesamtweges und nach der Auflösung des Weges in elementare Wegeinheiten. Würde man z.B. den Gesamtweg in 32 Wegeinheiten einteilen und im direkten Dual-Code codieren, würden 5 Spuren nötig sein, Bild 12/15a, bei feinerer Auflösung entsprechend mehr. Das Lesegerät muß für jede Spur eine Abtasteinrichtung besitzen.

Zur Vorschubsteuerung an einer Numerik-Maschine werden die binären Weginformationen vom Lesegerät der Meßeinrichtung zu einem Vergleicher geleitet, Bild 12/14, wo die Meßwerte mit einem ebenfalls binär eingegebenen Positionswert verglichen werden. Sobald Meßwert (Istwert W_i) und vorgegebener Positionswert (Sollwert W_s) gleich sind, gibt der Vergleicher ein STOP-Signal für den Antrieb des Maschinenschlittens.

Das Verfahren der absoluten Wegmessung hat gegenüber der inkrementalen Wegmessung den Vorzug der Unempfindlichkeit gegenüber Störimpulsen, die das Zählergebnis verfälschen können. Ferner ist die Meldung einer Position auch nach einem eventuellen Stromausfall sofort möglich; es muß nicht erst erneut von einem Ausgangs-

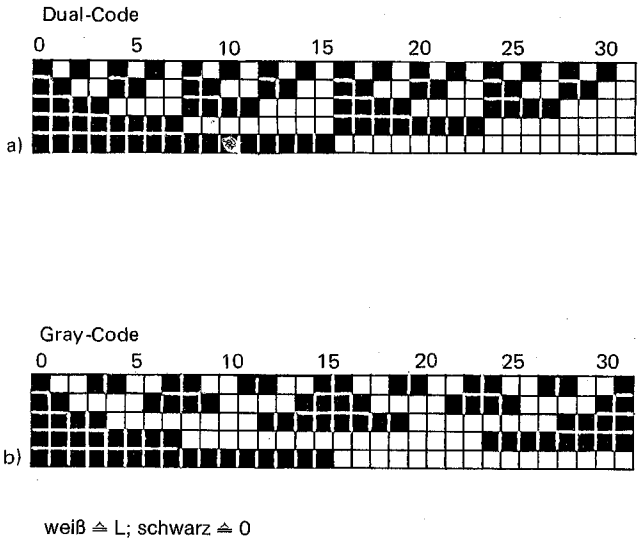


Bild 12/15. Code-Muster für Absolutmeßverfahren.
a) Dual-Code.
b) Gray-Code.

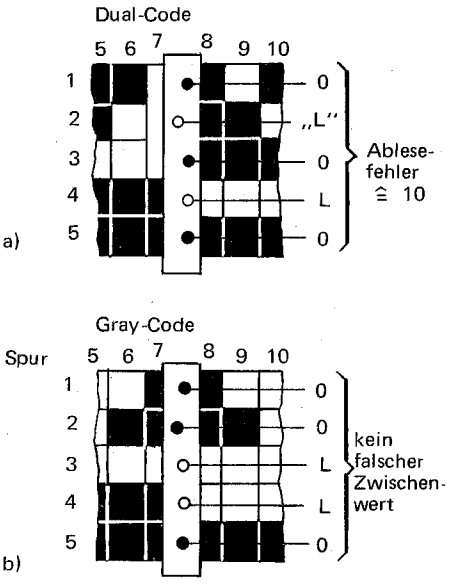


Bild 12/16. Beispiel zum fehlerfreien Ablesen eines Codes.
a) Ablesefehler beim Dual-Code.
b) Fehlerfreies Ablesen beim Gray-Code.

punkt her gemessen werden wie beim inkrementalen Verfahren, wo der letzte Zählerstand gelöscht sein würde. Dagegen ist das absolute Meßverfahren technisch aufwendiger als das inkrementale.

Meßfehler können beim absoluten Wegmeßverfahren unter Umständen allerdings auch auftreten, wenn keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden. Wenn nämlich beispielsweise das Codelineal nach dem Dual-Code eingeteilt ist, kann es beim Übergang von einem Code-Schritt zum nächsten zu Fehllesungen kommen, falls die Fotodioden nicht in allen Spuren völlig gleichzeitig den Übergang registrieren, was praktisch kaum erreichbar ist.

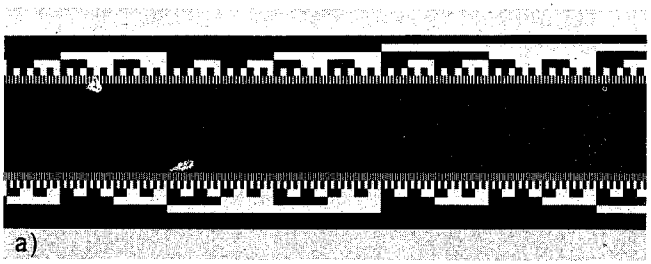
Wie es zum fehlerhaften Ablesen eines Wertes beim Übergang von einem Code-Schritt zum nächsten kommen kann, ist an einem Beispiel in Bild 12/16a dargestellt, und zwar für den Übergang vom 7. Schritt (OOLLL) zum 8. Schritt (OLOOO):

Es wird hier angenommen, daß in der Leseeinrichtung die Fotodiode zum Lesen der zweiten Spur etwas hinter der Fluchtlinie der übrigen Dioden liegt. Deshalb wird beim Übergang vom 7. zum 8. Schritt die Signalkombination OLOLO gelesen, ehe die duale Zahl 8 (OLOOO) erfaßt wird. Die fälschlich davor auftretende Signalkombination OLOLO bedeutet aber 10 und wird als solche falsch ausgewertet! Dieses Fehllesen läßt sich durch verschiedene Maßnahmen vermeiden:

Zum Beispiel kann das Problem mit einem aufwendigeren Ablesekopf (mehrere Fotodioden in V-förmiger Anordnung) und eine zusätzliche Logikschaltung gelöst werden.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, auf den Dual-Code ganz zu verzichten und einen anderen Code zu benützen, bei dem ein Falschlesen auch mit einem einfachen linearen Ablesekopf ausgeschlossen ist. Die letztere Möglichkeit sei hier erläutert:

Ein Code, bei dem ein eventuelles Falschlesen beim Übergang von einem Codeschritt zum nächsten ausgeschlossen ist, ist der sog. Gray-Code, Bild 12/15b. Bei die-



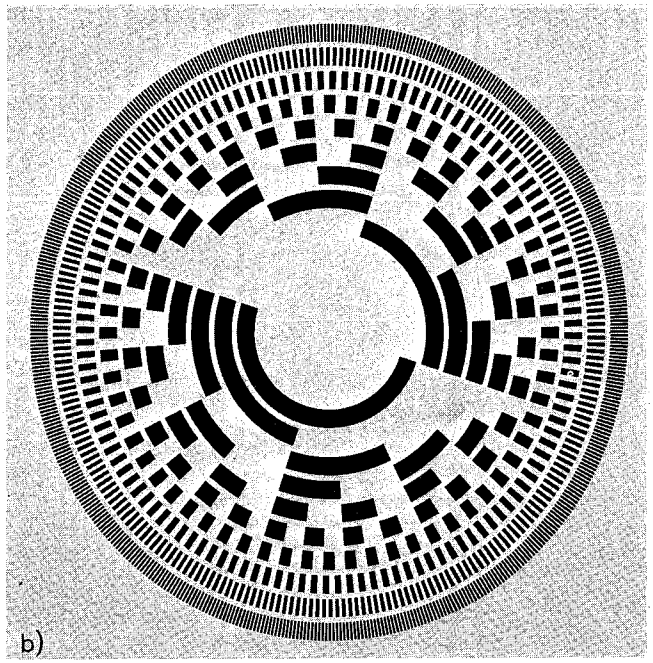


Bild 12/17. Wegmessung.
a) Code-Lineal.
b) Code-Scheibe (Winkelcodierer).

sem Code tritt beim Übergang von einem Schritt zum nächsten jeweils nur in einer einzigen Spur eine Änderung (Signalwechsel) auf.

Beispiele: Beim Übergang vom 4. Schritt (OOLLO) zum 5. Schritt (OOLLL) ändert sich nur in der ersten Spur das Signal von O (schwarzes Feld) nach L (weißes Feld)! Beim Übergang vom 7. Schritt (OOLOO) zum 8. Schritt (OLLOO) tritt nur in der vierten Spur ein Signalwechsel auf, nämlich von O nach L!

Die schrittweise Änderung der Signalkombinationen um jeweils nur ein Bit beim Gray-Code läßt kein Fehllesen zu, auch wenn die Lesedioden nicht völlig in gleicher Front liegen sollten oder der Ablesekopf etwas schräg stehen würde. Neben der direkten linearen Wegmessung mittels eines Code-Lineals, Bild 12/17a, ist auch eine sog. indirekte Wegmessung mit einer Code-Scheibe möglich, Bild 12/17b, die an der Antriebsspindel des Maschinenschlittens befestigt ist. Die Wegmessung erfolgt indirekt über die Messung des Drehwinkels der Spindel bzw. der Codescheibe. Damit die Messung genau wird, muß die Spindel möglichst verwindungs- und spielfrei arbeiten.

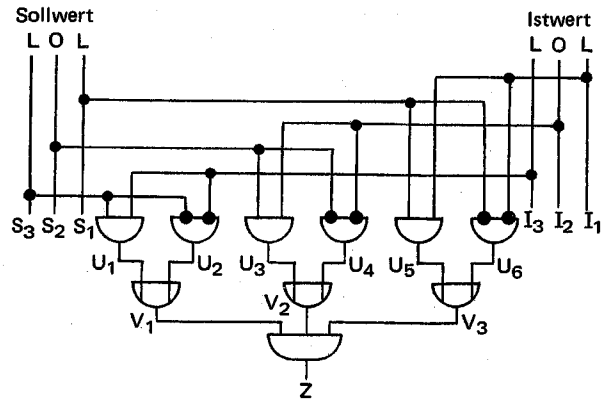
Übung 12/4 ?

Die untenstehende Vergleicherschaltung liefert L-Signal am Ausgang Z, wenn Sollwert und Istwert übereinstimmen.

a) Welche Verknüpfungsglieder führen an ihren Ausgängen *L*-Signal, wenn Soll- und Istwert gleich LOL.

b) Welche Verknüpfungsglieder führen L-Signal, wenn der Sollwert gleich LOL und der Istwert gleich OOL ist?

c) Erläutern Sie anhand der Signalgruppe U_1, U_2, V_1 das Prinzip nebenstehender Vergleichsschaltung!



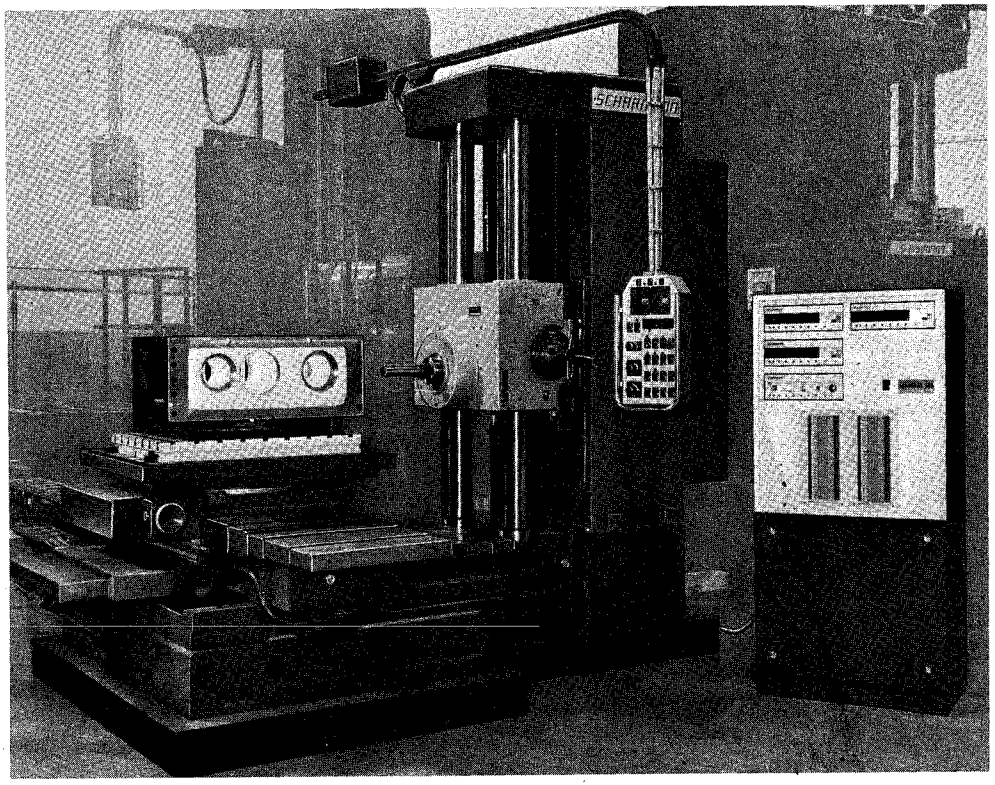


Bild 12/18. Horizontal-Bohr- und Fräswerk mit numerischer Positionierungssteuerung.
Rechts befindet sich der Steuerschrank mit Programmsteckfeld zur Handeingabe der Positionsdaten und einigen Anzeigeeinheiten. An der Maschine hängt das sog. Steuerpendel zur manuellen Eingabe der verschiedenen Schaltbefehle.

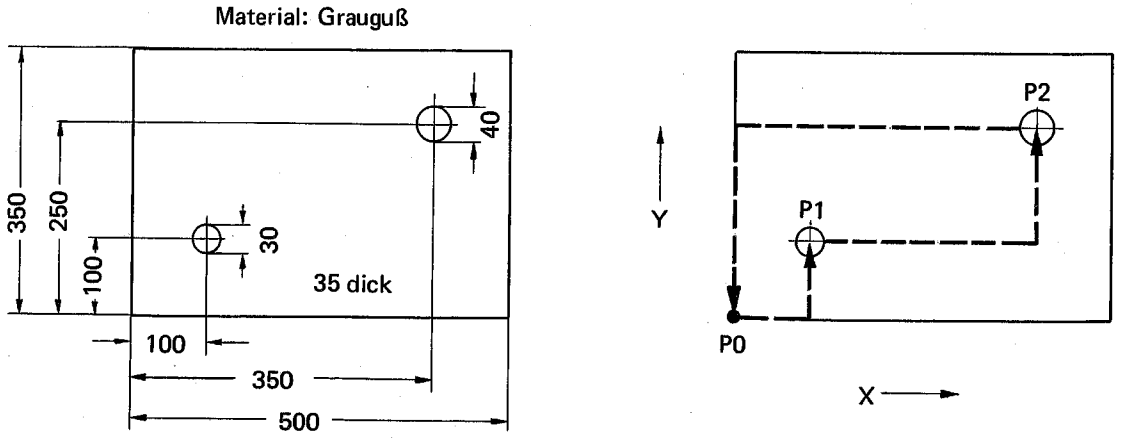
Logische Folge der Arbeitsschritte: Beispiel eines Arbeitsprogramms für eine numerisch gesteuerte Maschine

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels Problemstellungen behandelt wurden, die sich im wesentlichen auf den technisch-konstruktiven Bereich numerischer Maschinensteuerungen bezogen – für diesen Bereich wird häufig auch die aus dem Amerikanischen kommende Bezeichnung „hardware" (wörtlich: harte bzw. schwere Ware) verwendet –, soll in den folgenden Abschnitten einiges zur Erstellung und zum Ablauf eines Arbeitsprogramms erläutert werden – man bezeichnet diesen Problemkreis auch als den Bereich der „software" (wörtlich: weiche bzw. leichte Ware).

Die Betrachtungen sollen hier konkret auf ein einfaches Arbeitsbeispiel bezogen werden, und zwar auf das Bearbeiten eines Werkstücks auf einer Bohrmaschine. Die Arbeitsaufgabe soll lauten:

In eine Metallplatte sollen zwei verschieden große Löcher gebohrt werden, Bild 12/19a.

Diese Arbeiten sollen auf einer Bohrmaschine ausgeführt werden, bei der nur das Einstellen der Bohrpositionen numerisch gesteuert wird. Alle übrigen Arbeiten wie z.B. das Eingeben der Positionsdaten, das Bohren selbst und der Werkzeugwechsel sollen auf der Maschine von Hand durchgeführt werden. In Bild 12/18 ist ein sog. Horizontal-Bohrwerk abgebildet, auf dem die angenommene Bearbeitungsaufgabe realisiert werden kann.



a) Technische Zeichnung des Werkstücks.

b) Veranschaulichung der notwendigen Verfahrbewegungen zum Einstellen der Bohrpositionen P1 und P2 vom Bezugspunkt P0 aus.

Bild 12/19. Ermittlung von Arbeitsschritten aus der Werkstückzeichnung.

Bei dieser Maschine ist die Bohrspindel nicht wie bei anderen Bohrmaschinen vertikal, sondern horizontal angeordnet. Ein Grund dafür ist die Möglichkeit, große Werkstücke bequem auf den Maschinenschlitten setzen zu können.

Zum Bohren wird ein aufgespanntes Werkstück in Richtung des Bohrers bewegt. Diese Bewegungsrichtung heißt hier Z-Richtung. Das Einstellen der Bohrpositionen kann erfolgen, indem einerseits das Werkstück horizontal und quer zur Z-Achse verfahren und andererseits der Bohrer mit dem Antriebskasten vertikal verstellt wird. Die horizontale Richtung, in der das Werkstück beim Positionieren bewegt wird, wird als X-Richtung, die vertikale Bewegungsrichtung des Bohrers als Y-Richtung bezeichnet.

Die angeführte Maschine wird hier vor allen deshalb als Beispiel gewählt, weil sie mit einer numerischen Positioniereinrichtung ausgerüstet ist, bei der die Eingabe der Positionsdaten recht anschaulich von Hand unter Verwendung von numerierten Programmiersteckern möglich ist. Auf diese Dateneingabemöglichkeit wird in der anschließenden Beschreibung zum Durchführen der Bearbeitungsaufgabe noch näher eingegangen werden.

Um eine Übersicht über den geplanten Arbeitsprozeß zu bekommen, ist es zweckmäßig, eine Liste der wesentlichen Arbeitsschritte in logischer Reihenfolge aufzustellen. Ein solcher Arbeitsplan sei nun formlos auch für das hier angenommene Arbeitsbeispiel, das Bohren einer Metallplatte, entwickelt.

Arbeitsplan

Arbeitsfolge	Arbeitsablauf	Daten
1	Position P1 anfahren	+ X100 + Y100
2	Werkzeugwechsel: Werkzeug T1	Bohrer ϕ30
3	Bohren in Position P1	Drehzahl 200 min^{-1} Vorschub 100 mm/min Bohrtiefe 48 mm Kühlmittel
4	Position P2 anfahren	+ X350 + Y 250
5	Werkzeugwechsel: Werkzeug T2	Bohrer ϕ40
6	Bohren in Position P2	Drehzahl 160 min^{-1} Vorschub 90 mm/min Bohrtiefe 48 mm Kühlmittel
7	Bezugspunkt P0 anfahren	−X0 −Y0

Bild 12/20. Arbeitsplan zum Bearbeitungsbeispiel „Bohren zweier Löcher in eine Metallplatte".
Arbeitsplan für eine Arbeitsaufgabe auf einer Bohrmaschine, die nur eine numerische Steuerung zum automatischen Einstellen der Bohrpositionen besitzt.

Als Grundlagen dienen dabei die Werkstückszeichnung und die technischen Gegebenheiten an der Maschine:

Zuerst ist zu berücksichtigen, daß das Werkstück vor dem Beginn des eigentlichen Bearbeitungsprogramms auf den Maschinenschlitten aufgespannt werden muß und daß ein Bezugspunkt festzulegen ist, auf den alle Arbeitspositionen ausgerichtet werden können. In der Praxis werden diese Maßnahmen in aller Regel zu den Vorbereitungen gerechnet. Auch in der hier durchzuführenden Aufstellung eines Arbeitsprogramms wird angenommen, daß das Werkstück auf dem Maschinenschlitten vom Bedienungsmann so eingerichtet wurde, daß die Bohrspindel genau über einem festgelegten Ausgangspunkt für alle Verfahrbewegungen steht, bevor das Bearbeitungsprogramm im engeren Sinne beginnt. Im vorliegenden Fall soll eine Ecke des Werkstücks als Bezugspunkt P0 gelten.

Im Bild 12/19b ist dieser Bezugspunkt P0 zur Veranschaulichung der weiteren Erläuterungen zusammen mit den Richtungskoordinaten X und Y und den notwendigen Verfahrwegen in die Werkstückszeichnung eingetragen worden.

Als erster Schritt im Arbeitsprogramm muß das Anfahren der Bohrposition P1 vom Bezugspunkt P0 aus vorgesehen sein. Im Arbeitsplan, Bild 12/20, lautet demnach die erste Arbeitsfolge:

1. Bohrposition P1 anfahren.
Aus der Werkstückszeichnung ist ersichtlich, daß vom Bezugspunkt P0 aus 100 mm in X-Richtung und ebenso 100 mm in Y-Richtung verfahren werden muß.

Die Bewegungen laufen vom Bezugspunkt weg, was durch Pluszeichen vor den Wegangaben ausgedrückt wird; gegenläufige Bewegungen werden zur Unterscheidung durch Minuszeichen gekennzeichnet.

Die Dateneingabe der Weginformationen erfolgt – wie schon erwähnt wurde – bei dem zur Verfügung stehenden Bohr- und Fräswerk von Hand durch das Einführen von Steckern in ein Programmsteckfeld, Bild 12/21, das zum Steuerteil der Maschine gehört. Jedes Zeichen bzw. jede Ziffer der Positionierungsdaten wird durch einen besonders geformten schlüsselartigen Kunststoffstecker verkörpert.

Durch das Einführen eines Steckers in das Steckfeld wird in der Maschinensteuerung jeweils eine bestimmte logische Verknüpfung von Schaltgliedern erreicht, die von der Maschine als spezielle, dem Zeichen entsprechende Information ausgewertet wird.

Die Weginformationen werden der Maschine in der kleinsten Wegeinheit eingegeben, auf die sie eingerichtet ist, d.h. hier in Hundertstelmillimetern. Wenn also der Maschinenschlitten in X-Richtung um 100 mm vom Bezugspunkt weg bewegt werden soll, wird die Weginformation +X 100 00 eingegeben. Der Maschinenschlitten wird daraufhin um 100 00 Hundertstelmillimeterschritte verstellt. Entsprechend wird auch die Positionierung in Y-Richtung durchgeführt.

Wenn im vorliegenden Arbeitsbeispiel die Positionierung für die Bohrposition P1 abgeschlossen ist, schließt sich als zweiter Arbeitsgang das Einsetzen eines passenden Bohrers an. Dieser Arbeitsgang wird manuell ausgeführt. Hier wird angenommen, daß noch ein anderer Bohrer von einem vorhergehenden Arbeitsgang im Bohrfutter sitzt, der nun gegen einen passenden Bohrer von 30 mm Durchmesser ausgewechselt werden soll.

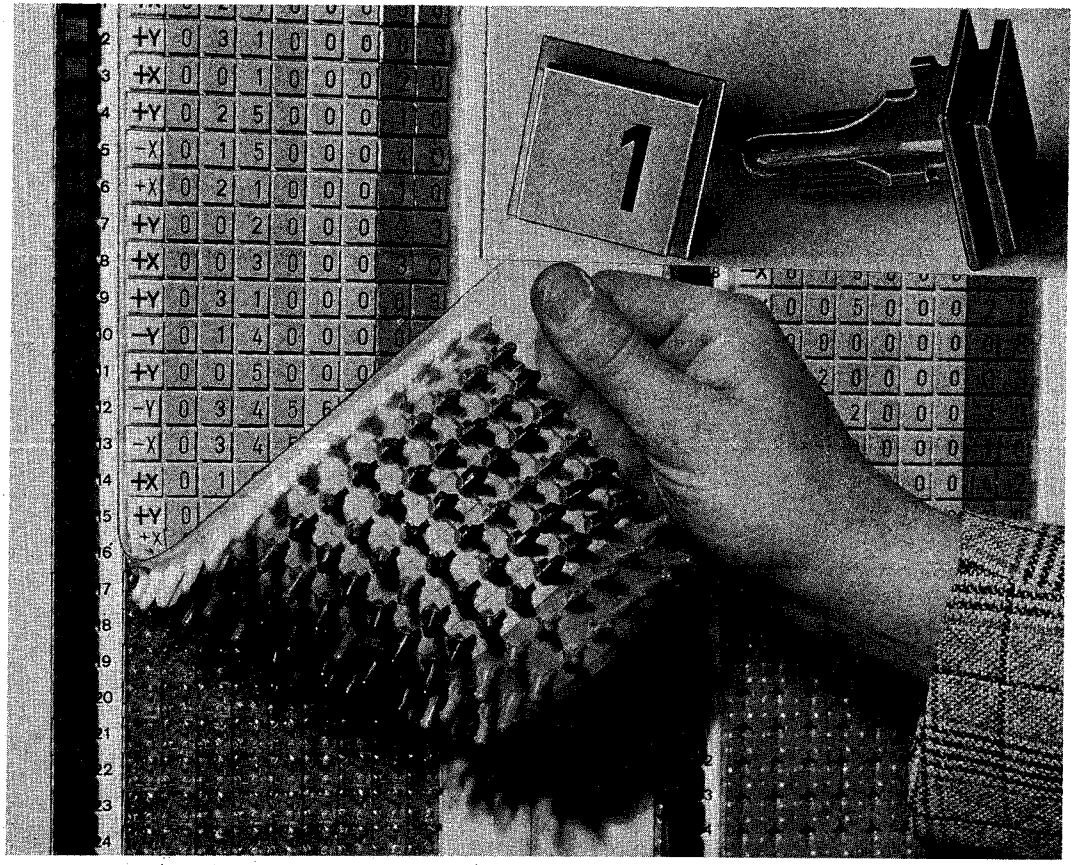


Bild 12/21. Programmsteckfeld zur manuellen Eingabe von Weginformationen in die Positionierungssteuerung einer NC-Maschine.
Zur Erleichterung des Programmwechsels werden die Stecker mittels einer Folie zusammengehalten. Rechts oben zwei einzelne Programmstecker.

Im Arbeitsplan wird dieser manuelle Arbeitsgang vermerkt als:

2. Werkzeugwechsel: Werkzeug T1.

Nach dem Werkzeugwechsel kann das Bohren des ersten Loches erfolgen. Im Arbeitsplan wird vermerkt:

3. Bohren in Position P1.

Auch dieser wichtige Arbeitsschritt muß in unserem Beispiel manuell gesteuert werden, d. h. der Bedienungsmann muß einerseits die im Arbeitsplan enthaltenen technologischen Daten, u.a. Drehzahl und Vorschub des Bohrers, von Hand in die Maschine eingeben. Dies geschieht durch das Betätigen von Schaltern, die sich an einem besonderen Bedienungsteil, dem sog. Steuerpendel, Bild 12/22, befinden. Andererseits muß der Bedienungsmann auch den Bohrvorgang in seinen Einzelschritten in logischer Folge vom Einschalten des Bohrerantriebs bis zum Rückholen des Bohrers nach dem Bohren des Loches vollziehen.

Ist der Bohrvorgang in Position P1 vollständig abgewickelt, so kann die nächste Bohrposition angesteuert werden.

Die 4. Arbeitsfolge im Arbeitsplan lautet:
4. Bohrposition P2 anfahren.

Dieser Arbeitsschritt läuft wie das Positionieren der Position P1 numerisch gesteuert ab. Als Positionsdaten sind in das Steckfeld der Steuerung gemäß der Werkstückszeichnung (Bild 12/19a) die Wegangaben +X 350 00 und +Y 250 00 einzugeben. Sie sind auf die Ausgangsposition P0 bezogen.

Wenn der Bedienungsmann den Verfahrbefehl gibt, wird die Position automatisch erreicht.

Nach Abschluß des Positioniervorgangs muß wieder ein Werkzeugwechsel vorgenommen werden, ehe gebohrt werden kann. Denn laut Werkstückszeichnung soll nun in Position P2 ein Loch von 40 mm Durchmesser gebohrt werden. Das Werkzeug T1 (Bohrer von 30 mm Durchmesser), das noch vom vorherigen Bohrvorgang im Bohrfutter steckt, wird manuell durch das Werkzeug T2 (Bohrer von 40 mm Durchmesser) ausgetauscht.

Der 5. Programmschritt im Arbeitsplan heißt deshalb:
5. Werkzeugwechsel: Werkzeug T2.

Nach dieser Arbeit, die insgesamt durch den Bedienungsmann von Hand ausgeführt werden muß, folgt der 6. Programmschritt:
6. Bohren in Position P2.

Der Bohrvorgang wird unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Daten für Drehzahl, Vorschub, Bohrtiefe und Kühlmittelzufuhr in gleicher Weise wie in Bohrposition P1 vom Bedienungsmann abgewickelt. Ist auch diese Arbeit erledigt, so braucht nur noch die Ausgangsposition angefahren zu werden, die Werkstück und Bohrer zu Beginn des Bearbeitungsprogramms innehatten. Damit wird das Arbeitsprogramm beendet.

Die letzte Arbeitsfolge heißt somit:
7. Bezugspunkt P0 anfahren.

Hierzu müssen die Positionen des Punktes P0 in das Steckfeld der Positionierungssteuerung eingegeben werden, also die Ausdrücke -X 000 00 und -Y 000 00. Da die Verfahrbewegungen nun in entgegengesetzter Richtung wie bisher verlaufen müssen, erhalten die Positionsangaben Minuszeichen.

Ist der Ausgangspunkt P0 wieder erreicht, so ist das gesamte Arbeitsprogramm beendet. Es kann erneut ablaufen, wenn ein weiteres Werkstück gleicher Art bearbeitet werden soll.

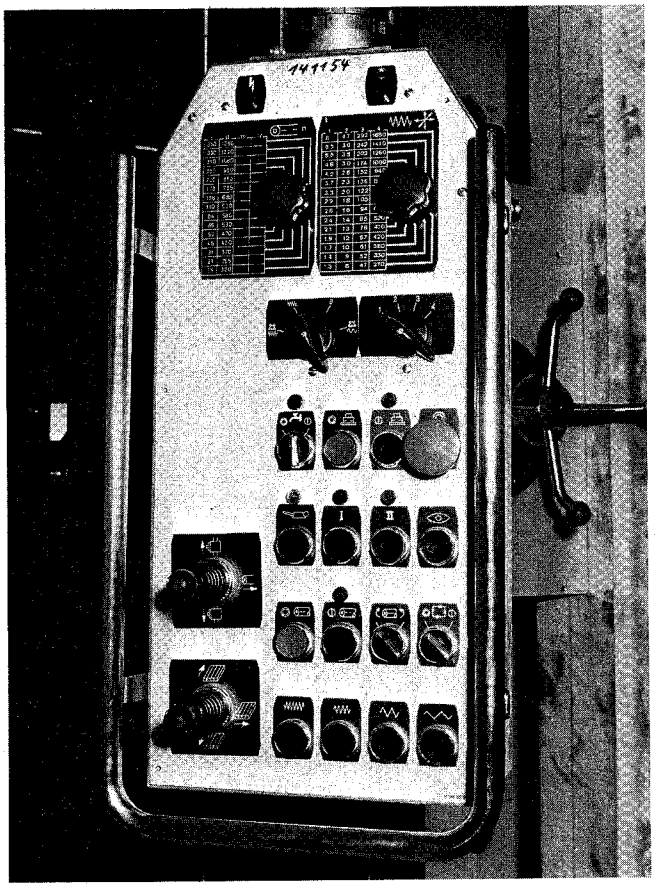


Bild 12/22. Steuerpendel einer Bohrmaschine zur manuellen Eingabe von Schaltinformationen.

Übung 12/5 ?

Welche Art von Steuerungsinformationen (Schaltinformationen, Weginformationen) wird in dem beschriebenen Beispiel einer numerischen Werkzeugmaschinensteuerung mit Hilfe von Stekkern in einem Programmierfeld der Maschinensteuerung gespeichert?

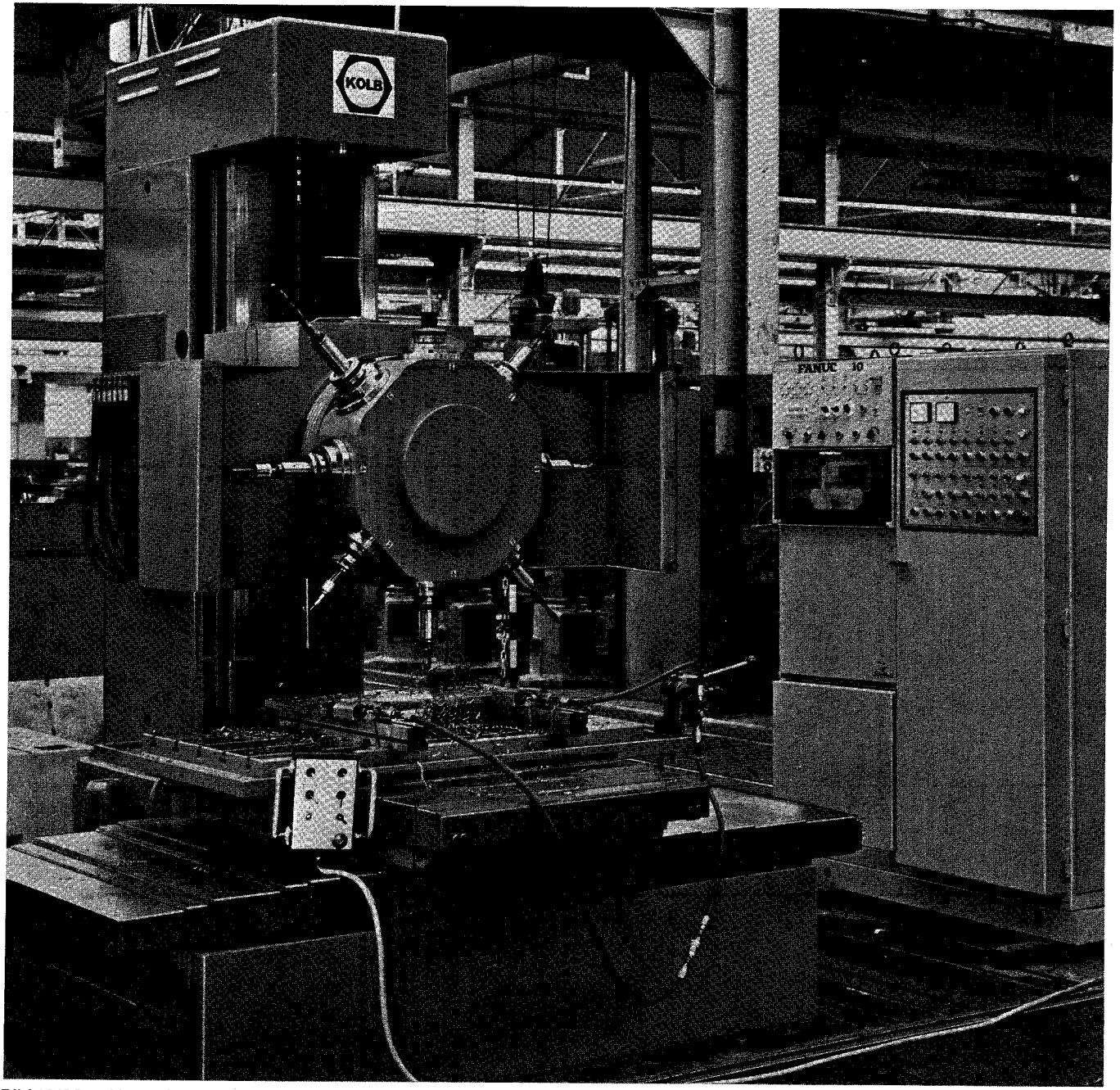


Bild 12/23. Numerisch gesteuerte Bohrmaschine mit Revolverkopf für den automatischen Werkzeugwechsel.
Rechts befindet sich der Steuerschrank mit Lochstreifen-Lesegerät.

Vollautomatischer Arbeitsablauf: Lochstreifen als Datenträger

Wenn das angenommene einfache Arbeitsbeispiel „Bohren zweier Löcher in eine Metallplatte" nicht – wie eben beschrieben – nur in den Positioniervorgängen, sondern insgesamt automatisch abgewickelt werden soll, ist sowohl bezüglich der Maschinenkonstruktion und der numerischen Steuerung als auch bezüglich der Programmerstellung und Dateneingabe ein höherer Aufwand erforderlich.

In Bild 12/23 ist als Beispiel eine numerisch gesteuerte Bohrmaschine abgebildet, mit der die vollautomatische Ausführung der angenommenen Arbeitsaufgabe möglich ist.

Hervorstechendes Merkmal dieser Maschine ist der Revolverkopf zur Aufnahme mehrerer Werkzeuge für den automatischen Werkzeugwechsel. Rechts im Bild ist der Steuerschrank mit der numerischen Steuerung zu sehen, der eine Lochstreifen-Leseeinrichtung enthält. Denn alle Steuerungsinformationen zur selbsttätigen Abwicklung eines Bearbeitungsprozesses werden dieser NC-Maschine in Form von binären Signalen zugeführt, die auf einem sog. Lochstreifen gespeichert sind. Und zwar werden auf dem Streifen die logischen Zustände L und O durch die binären Zustände „Loch" und „kein Loch" dargestellt.

Durch das Anordnen mehrerer Lochreihen nebeneinander auf einem Streifen ergibt sich die Möglichkeit von mehrstelligen Signalkombinationen, so daß auf diese Weise eine größere Anzahl verschiedener Zeichen in einem Binär-Code ausgedrückt werden kann.

In der Praxis wird überwiegend ein Lochstreifentyp verwendet, der acht Informationsspuren und eine Transportspur (kleinere Löcher) zum schrittweisen Transportieren besitzt.

Bild 12/24 zeigt einen kleinen Abschnitt eines solchen Lochstreifens. Die Bedeutung der einzelnen Signalkombinationen ist am Streifenrand vermerkt.

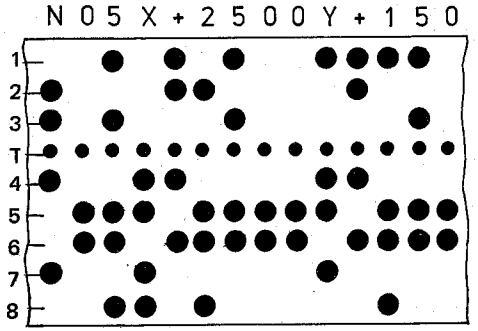


Bild 12/24. Lochstreifen-Abschnitt.

Der zugrunde liegende Code ist genormt (DIN 66024 und ISO R840). Eine Zusammenstellung der genormten Zeichen enthält Bild 12/25 (Seite 314). Wie sich leicht überprüfen läßt, besitzt jedes Zeichen dieses Codes immer eine gerade Anzahl von Löchern. Diese Gegebenheit dient zur Kontrolle der Richtigkeit der übertragenen Zeichen. Diejenigen Zeichen, die nach den Bildungsregeln des Codes ungeradzahlig wären, werden durch ein Loch in der 8. Lochspur zu geradzahligen Lochkombinationen ergänzt (vgl. Stichwort Parity-Bit, Kap. 11). Da die 8. Lochspur als Kontrollspur dient, bleiben zum Darstellen von Zeichen 7 Lochspuren übrig, d.h. es läßt sich ein 7-Bit-Code bilden.

Übung 12/6 ?

Wieviel verschiedene binäre Signalkombinationen können maximal bei einem siebenspurigen Lochstreifen gebildet werden?

Code-Tabelle		ISO DIN 66024							
	Bit-Nr. (P Prüfbit)	P	7	6	5	4		3	2	1
	Spur-Nr. (T Taktspur)	8	7	6	5	4	T	3	2	1
Bedeutung	Zeichen	Lochkombination								
Kein Loch	NUL						•			
Rückwärts	BS	●				●	•			
Tabulator	HT					●	•			●
Satzende Zeilenvorschub	LF					●	•		●	
Wagenrücklauf	CR	●				●	•	●		●
Zwischenraum	SP	●		●			•			
Anmerkungsbeginn	(			●		●	•			
Anmerkungsende	)	●		●		●	•			●
Programmanfang, Rückspulstopp	%	●		●			•	●		●
Hauptsatz	:			●	●	●	•		●	
Satzunterdrückung	/	●		●		●	•	●	●	●
Vorzeichen positiv	+			●		●	•		●	●
Vorzeichen negativ	–			●		●	•	●		●
Ziffer 0	0			●	●		•			
Ziffer 1	1	●		●	●		•			●
Ziffer 2	2	●		●	●		•		●	
Ziffer 3	3			●	●		•		●	●
Ziffer 4	4	●		●	●		•	●		
Ziffer 5	5			●	●		•	●		●
Ziffer 6	6			●	●		•	●	●	
Ziffer 7	7	●		●	●		•	●	●	●
Ziffer 8	8	●		●	●	●	•			
Ziffer 9	9			●	●	●	•			●
Drehbewegung um X-Achse	A		●				•			●
Drehbewegung um Y-Achse	B		●				•		●	
Drehbewegung um Z-Achse	C	●	●				•		●	●
Drehbewegung um beliebige Achse	D		●				•	●		
u. a. 2. Vorschub	E	●	●				•	●		●
Vorschub, Verweilzeit	F	●	●				•	●	●	
Wegbedingung	G		●				•	●	●	●
Hilfsfunktion	H		●			●	•			
Interpolationsparameter in X-Achse	I	●	●			●	•			●
Interpolationsparameter in Y-Achse	J	●	●			●	•		●	
Interpolationsparameter in Z-Achse	K		●			●	•		●	●
Lochstreifenunterprogramme	L	●	●			●	•	●		
Zusatzfunktion	M		●			●	•	●		●
Satznummer	N		●			●	•	●	●	
nicht verwenden	O	●	●			●	•	●	●	●
3. Bewegung parallel zu X	P		●		●		•			
u. a. Tiefenzuwachs	Q	●	●		●		•			●
u. a. Eilgangbewegung in Z-Richtung	R	●	●		●		•		●	
Spindeldrehzahl	S		●		●		•		●	●
Werkzeugnummer	T	●	●		●		•	●		
2. Bewegung parallel zu X	U		●		●		•	●		●
2. Bewegung parallel zu Y	V		●		●		•	●	●	
2. Bewegung parallel zu Z	W	●	●		●		•	●	●	●
Bewegung in X	X	●	●		●	●	•			
Bewegung in Y	Y		●		●	●	•			●
Bewegung in Z	Z		●		●	●	•		●	
Löschen	DEL	●	●	●	●	●	•	●	●	●

Bild 12/25. Lochstreifen-Code-Tabelle nach DIN 66024 bzw. ISO R 840.

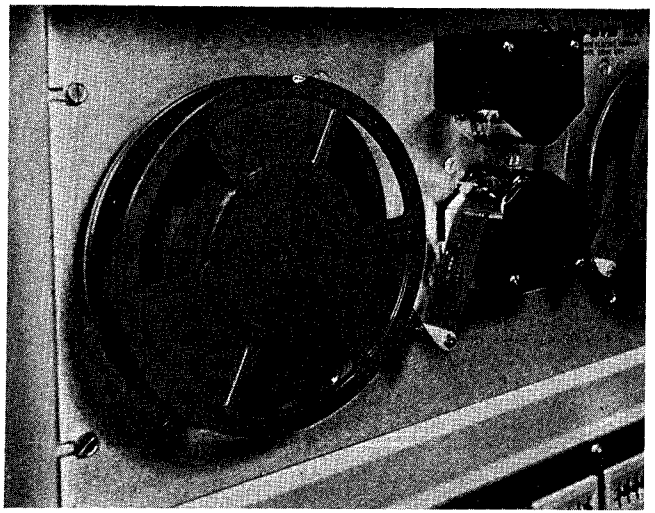


Bild 12/26. Lochstreifen-Leseeinrichtung.

Die auf dem Lochstreifen gespeicherten Informationen werden der numerischen Maschinensteuerung über ein Abtastgerät, den Lochstreifenleser, eingegeben. Bild 12/26 zeigt einen Lochstreifenleser mit optoelektronischen Abtastelementen, der 120 Zeichen pro Sekunde einlesen kann.

Die einzelnen Signalkombinationen auf dem Streifen werden nach dem Einlesen im Steuerteil der Maschine entschlüsselt. Prinzipiell dienen zur Entschlüsselung logische Verknüpfungsschaltungen. Ein Beispiel zeigt Bild 12/27. Mit dieser logischen Schaltstufe kann beispielsweise das Zeichen X auf dem Lochstreifen erkannt werden. Durch dieses Zeichen wird die Maschinensteuerung veranlaßt, die nachfolgenden Ziffernzeichen als Weginformation für eine Bewegung in Richtung der X-Achse zu speichern. Wenn danach z.B. das Zeichen Y erscheint, werden die weiteren Ziffernzeichen für eine Bewegung in Richtung der Y-Achse ausgewertet.

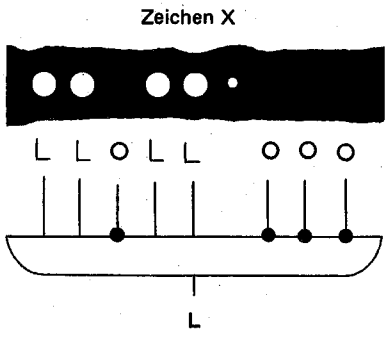
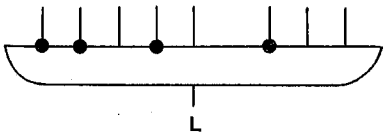


Bild 12/27. Beispiel zur Zeichenerkennung bei einem Lochstreifen.

Übung 12/7 ?

Welche Signalkombination bzw. welches genormte Zeichen wird mit dem folgenden Verknüpfungsglied erkannt (vgl. Bild 12/25 und 12/27):



Zahlen- und Zeichenkombinationen als „Wörter" und „Sätze" eines Steuerungsprogramms

Bevor alle Daten zur Steuerung einer NC-Maschine für einen bestimmten Arbeitsprozeß auf einem Lochstreifen gespeichert werden können, müssen sie nach eindeutigen Ordnungsprinzipien lückenlos zusammengestellt und in einer „Programmsprache" formuliert werden, die die Maschine auswerten kann.

Da im Rahmen dieses Buches keine Einführung in das Programmieren von NC-Maschinen beabsichtigt ist, sollen im folgenden die Ausführungen dazu nur auf einige Anmerkungen beschränkt bleiben, die sich auf die angenommene Aufgabenstellung „Bohren zweier Löcher in eine Metallplatte" beziehen.

Um in großen Zügen zu zeigen, nach welchen Prinzipien die Aufstellung und maschinengerechte Formulierung eines Steuerungsprogramms erfolgen kann, ist in Bild 12/28 (Seite 316) eine sog. Programmliste abgebildet, in der alle Steuerungsinformationen zur automatischen Abwicklung des hier angenommenen Arbeitsbeispiels für die NC-Bohrmaschine nach Bild 12/23 (Seite 312) zusammengestellt sind.

Wie man aus der Programmliste erkennen kann, treten Einzelzeichen (d.h. Ziffern, Buchstaben, Vorzeichen), deren steuerungstechnische Bedeutung genormt ist, (vgl. Bild 12/25, Seite 314), zusammengefaßt zu kleineren und größeren Gruppen auf. Diese Zeichengruppen stellen für die Maschinensteuerung sinnvolle Programmeinheiten dar. Die kleinste Programmeinheit wird als „Wort" bezeichnet; mehrere „Wörter" werden wiederum zu größeren aufgabenbezogenen Gruppen, zu sog. „Sätzen" zusammengestellt.

Z.B. enthält der erste „Satz" in der abgebildeten Liste folgende „Wörter":
:001, g00, g80, g40, x+01, y+01, f100, s66, t0101, m06. Die Bedeutung dieser Wörter kann aus einer Programmieranweisung entnommen werden, die eine Herstellerfirma jeweils für eine bestimmte numerische Maschinensteuerung aufstellt.

Im angeführten Beispiel eines Programmsatzes bedeutet das Wort :001 die Satznummer (der Doppelpunkt bedeutet hier zusätzlich „Hauptsatz"); dann folgen drei Wörter mit dem Buchstaben g (g00, g80, g40), die sich auf das Einstellen der ersten Bohrposition auf der Bohrmaschine beziehen. Das Wort g00 z.B. bedeutet nach den hier gültigen Festlegungen „Positionieren im Eilgang". Die Wörter x+01 und y+01 sind die Positionsangaben für die erste Bohrposition. Obwohl die Positionsdaten hier nur verkürzt angegeben werden, ist die Maschinensteuerung später in der Lage, z.B. die Zahl 01 als Wegangabe von 0100 00 Hundertstelmillimetern zu verarbeiten; denn die vorliegende Steuerung ergänzt automatisch alle Positionsangaben stets durch Nullen nach rechts auf sechs Stellen.

Die weiteren Wörter des angeführten Programmsatzes bedeuten nach den für diese Maschine gültigen Programmierregeln:

f00 = Bohrervorschub (100/min), S66 = Drehzahl des Bohrers (200 min^{-1}), t0101 = Werkzeug Nr. 1 (Bohrer, 40 mm Durchmesser), m06 = Werkzeugwechsel.

Arbeitsablauf-Lochstreifen	Benennung: Vorführprogramm KBNE40RS/Smuma.rk540	Werkstoff: GG-22	Blatt: 1	Seite: 1
KBN –	Zeichnungs-Nr.: ./.	Bearbeiter: Cor.	Dat.: 3.9.73	
	Teil: ./.			

n	g	g	g	x	y	z	r	f	s	h	t	m	m	Bemerkungen:
%														Programmanfang und
%														Rückspulstop
%														
:001	g00	g80	g40	x+01	y+01			f100	s66		t0101		m06	Werkzeugwechsel
:001	g00	g80	g40	x+01	y+01			f100	s66		t0101		m06	Spiralbohrer ϕ30
:001	g00	g80	g40	x+01	y+01			f100	s66		t0101		m06	Bohrg. Position 1
n002		g81	g43			z-0048	r+0002					m03		bohren ϕ30 Pos. 1
n002		g81	g43			z-0048	r+0002					m03		
n002		g81	g43			z-0048	r+0002					m03		
n003		g80				z+02						m05		Werkzeugrückzug
n003		g801				z+02						m05		Spindelstop
n003		g80				z+02						m05		
:004			g40	x+035	y+025			f90	s64		t0202		m06	Werkzeugwechsel
:004			g40	x+035	y+025			f90	s64		t0202		m06	Spiralbohrer ϕ40
:004			g40	x+035	y+025			f90	s64		t0202		m06	
n005		g81	g43			z-0046	r+0002					m03		bohren ϕ40 Pos. 2
n005		g81	g43			z-0046	r+0002					m03		
n005		g81	g43			z-0046	r+0002					m03		
n006		g80				z+02						m05		Werkzeugrückzug
n006		g80				z+02						m05		Spindelstop
n006		g80				z+02						m05		
n007			g40	x+0	y+0									Ausgangsposition
n007			g40	x+0	y+0									
n007			g40	x+0	y+0									
n008													m30	Programmende mit
n008													m30	Bandrücklauf
n008													m30	

Bild 12/28. Programmliste für die einfache Bearbeitungsaufgabe „Bohren zweier Löcher in eine Metallplatte" nach Bild 12/19, aufgestellt für eine numerisch gesteuerte Bohrmaschine mit automatischem Werkzeugwechsel und Lochstreifen-Dateneingabe.

Bemerkenswert ist, in welch knapper Formulierung die Arbeitsbefehle für die numerische Maschinensteuerung ausgedrückt werden können. Vor allem um dies zu demonstrieren, wurde hier das Beispiel eines Programmsatzes aus der Programmliste herausgegriffen, z. B. genügen die kurzen Informationen t0101 und m06 für einen vollständigen Werkzeugwechsel. D. h. im konkreten Fall: auf der Maschine dreht der Revolverkopf, der alle für den Bearbeitungsprozeß benötigten Werkzeuge trägt, das richtige Werkzeug, nämlich den 40-mm-Bohrer, in die Arbeitslage.

Die Daten der komplett erstellten Programmliste werden mit Hilfe eines sog. Lochstreifenstanzers auf den Lochstreifen übertragen. Die Eingabeapparatur dieses Lochstreifenstanzers ähnelt einer Schreibmaschine. Beim Übertragen der Daten auf den Lochstreifen werden in dieser Maschine alle Daten ein zweites Mal in die eingespannte Programmliste unter die handschriftlichen Eintragungen des Programmierers geschrieben, damit Schreibfehler leichter erkennbar sind (vgl. Bild 12/28). Eine weitere Schriftzeile entsteht in der Programmliste für jeden Satz, indem der Lochstreifen nach seiner Fertigstellung nochmals abgetastet und damit überprüft wird.

Um zu zeigen, welches Ausmaß der Lochstreifen besitzt, der alle in der Programmliste nach Bild 12/28 enthaltenen Informationen in Form von binären Signalen trägt, wurde er in Bild 12/29 (zerschnitten) abgebildet. Ob das auf ihm gespeicherte Steuerungsprogramm zum „Bohren zweier Löcher in eine Metallplatte" bis in alle Details perfekt erstellt wurde, zeigt spätestens der erste Probelauf auf der NC-Maschine.

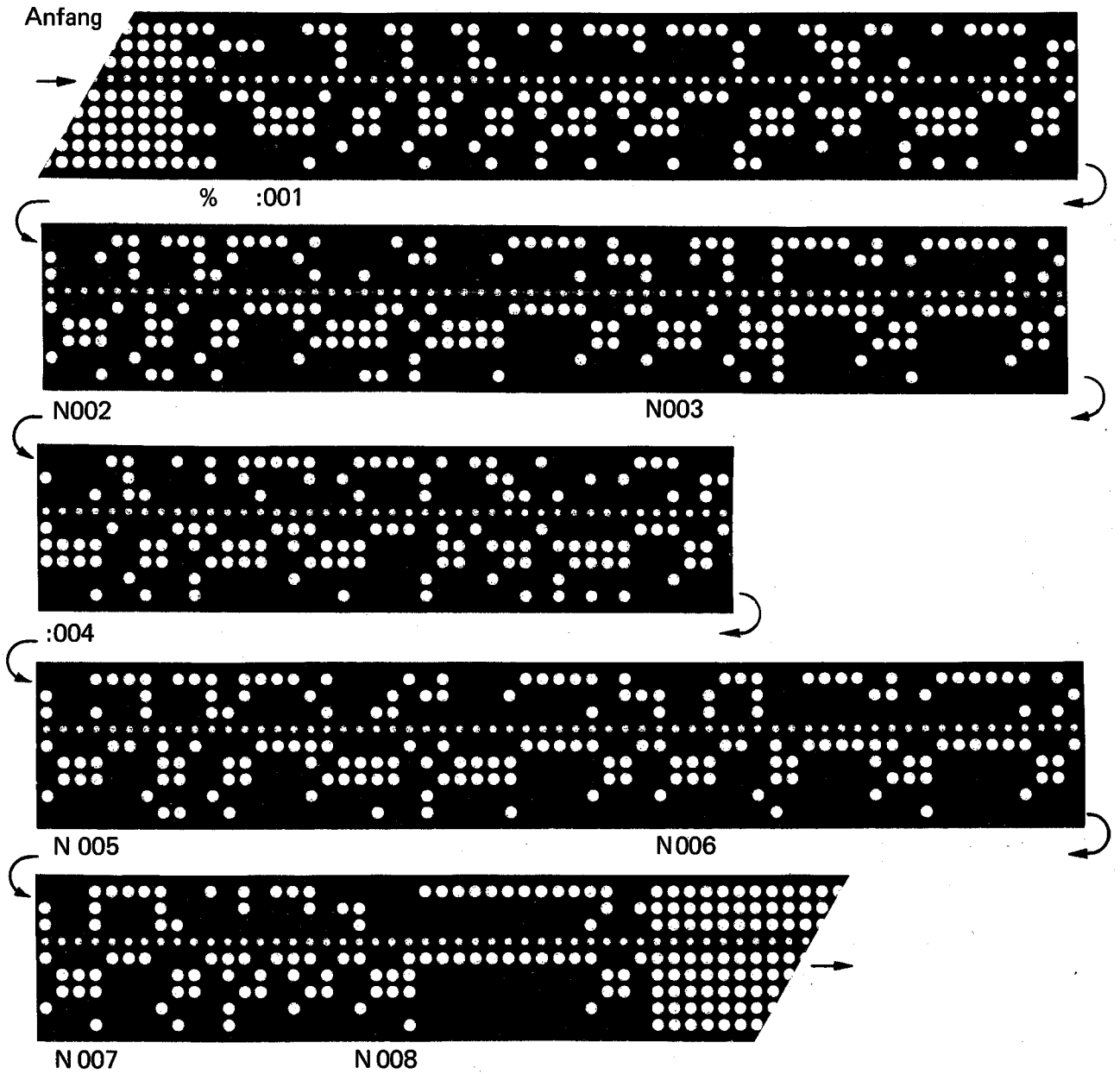


Bild 12/29. Vollständiger Lochstreifen für die einfache Bearbeitungsaufgabe „Bohren zweier Löcher in eine Metallplatte", angefertigt nach der Programmliste in Bild 12/28.

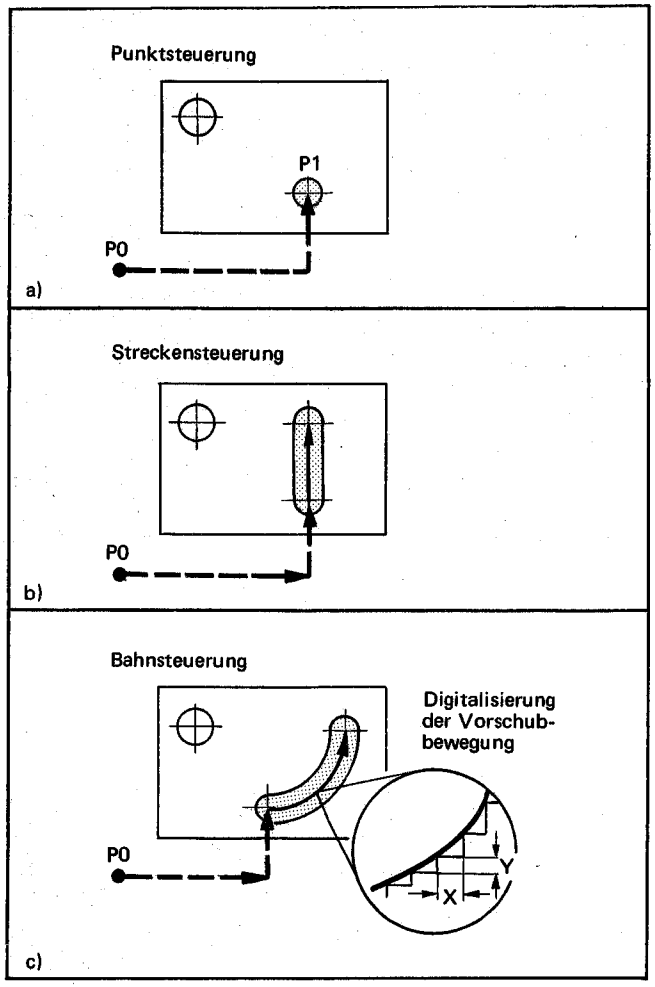


Bild 12/30. Beispiele zu den Steuerungsarten für Vorschubbewegungen.
a) Punktsteuerung.
b) Streckensteuerung.
c) Bahnsteuerung.

Punkt-, Strecken- und Bahnsteuerung

Bei der in den vorangegangenen Abschnitten als Arbeitsbeispiel angeführten Bohraufgabe wurde bisher nur die einfachste Art einer Vorschubsteuerung beschrieben, nämlich das Ansteuern von festen Arbeitspositionen. Diese Positionierungssteuerung, die auch als Punktsteuerung bezeichnet wird, läßt sich am einfachsten realisieren, indem eine Positionierbewegung aus zwei geradlinigen Verfahrbewegungen in X- und Y-Richtung zusammengesetzt wird, Bild 12/30a.

Der steuerungstechnische Aufwand muß jedoch größer sein, wenn eine Verfahrbewegung z.B. in einer Hauptrichtungsachse unter Einsatz eines Werkzeuges erfolgt, wie dies z.B. beim Fräsen eines Langlochs der Fall ist, Bild 12/30b. Der größere steuerungstechnische Aufwand für eine solche Arbeitsbewegung resultiert daraus, daß die Vorschubgeschwindigkeit einstellbar sein muß, weil sie jeweils von den Material- und Werkzeugdaten abhängt. Man spricht bei einer solchen Steuerung, bei der die Verfahrbewegung immerhin noch auf einer geradlinigen Strecke verläuft, von einer Streckensteuerung.

Die aufwendigste Steuerungsart für Verfahrvorgänge ist aber die sog. Bahnsteuerung. Sie ist z.B. erforderlich, wenn eine gekrümmte Bahn, etwa eine Viertelkreisbahn, gefräst werden soll, Bild 12/30c. Während eines solchen Bearbeitungsvorgangs muß eine Bewegung fortlaufend sowohl in der X- als auch in der Y-Richtung stattfinden.

Da digital gesteuert werden soll, muß die gekrümmte Bahn in viele kleine X- und Y-Schritte aufgelöst werden, die abwechselnd zurückzulegen sind.

Bei entsprechend starker Auflösung der gekrümmten Bahn in kleine Wegeinheiten, z.B. in Hundertstelmillimeter-Schritte, sind praktisch keine Unstetigkeiten in der Bewegung und später an der bearbeiteten Fläche des Werkstücks erkennbar.

Auch die Bearbeitung räumlich gekrümmter Flächen ist auf diese Weise möglich. Die Arbeitsbewegung muß nur außer in der X- und der Y-Richtung zusätzlich und gleichzeitig in der Z-Richtung erfolgen.

Numerische Steuerungen sind vielseitig einsetzbar

Die Vorteile numerischer Steuerungen liegen insbesondere in der Arbeitserleichterung und der Präzision, die mit solcherart gesteuerter Maschinen erreichbar ist.

Diese Vorteile kommen z.B. zur Geltung, wenn es um die Bearbeitung von kompliziert geformten Werkstücken wie z.B. Turbinenschaufeln geht, Bild 12/31. In einem solchen Fall muß die Position des Werkstücks zum Werkzeug ständig verändert werden. Die Bahnen, in denen sich das Werkstück bewegen muß, sind in kleinste Wegschritte aufgegliedert und zahlenmäßig im Steuerungsprogramm erfaßt. Durch die Feinheit der Auflösung der Verfahrbewegungen in allen Verfahrkoordinaten entstehen praktisch kontinuierliche Bewegungen.

Bei der Erstellung der umfangreichen Programme für solche Bahnsteuerungen können Computer die Routineberechnungen übernehmen. Der Programmierer selbst braucht nur das wesentliche Programmkonzept anzugeben, die Berechnung von Einzeldaten, z.B. die Berechnung von Weginformationen zum Bearbeiten einer Kreisbahn, übernimmt der Computer. Dabei ist nicht für jede Maschine ein eigener Computer erforderlich, sondern die Steuerung kann von einem zentralen Computer aus über Fernleitungen erfolgen.

Auf der Grundlage der numerischen Steuerung lassen sich außerdem umfangreiche Bearbeitungszentren aufbauen, Bild 12/32, die die Aufgaben mehrerer herkömmlicher Maschinen übernehmen können. Die Steuerung der Anlage und die Koordinierung der Arbeitsprozesse kann auch hierbei vom Computer übernommen werden.

Die Entwicklung und der Einsatz numerischer Steuerungen ist zwar auf dem Gebiet der Werkzeugmaschinen besonders weit fortgeschritten, ist aber nicht allein auf dieses Anwendungsgebiet beschränkt.

Übung 12/8 ?

Auf einer Numerik-Drehmaschine wird der Mantel eines zylinderförmigen Werkstückes geschlichtet. Welche Steuerungsart ist hierbei notwendig?

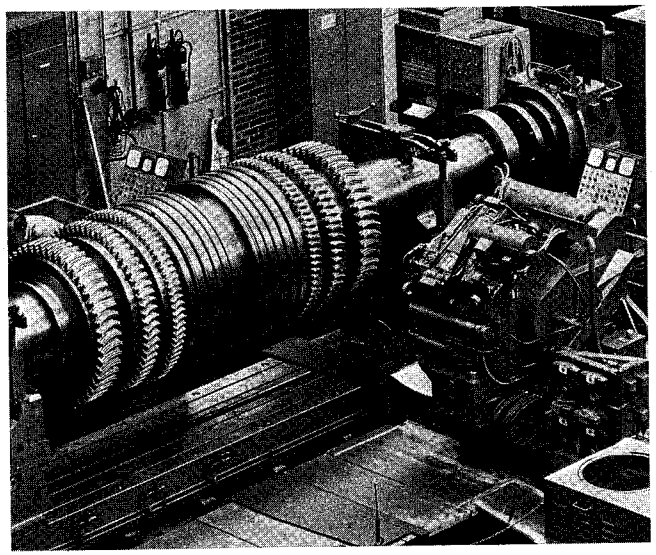


Bild 12/31. Bearbeitung eines Turbinenläufers auf einem Großfräswerk mit numerischer Bahnsteuerung.

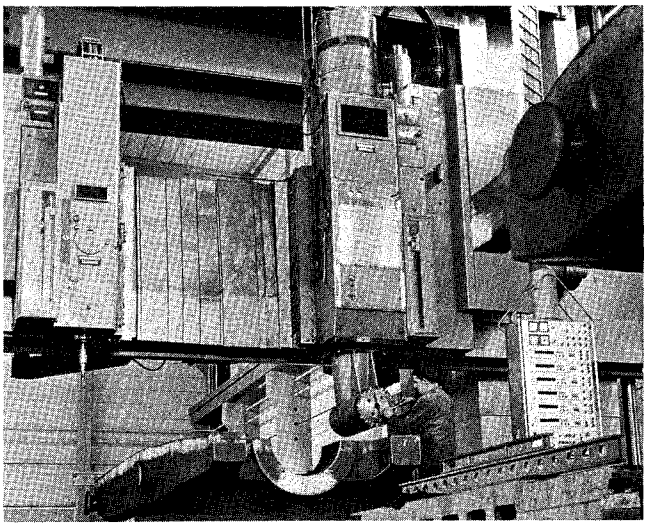
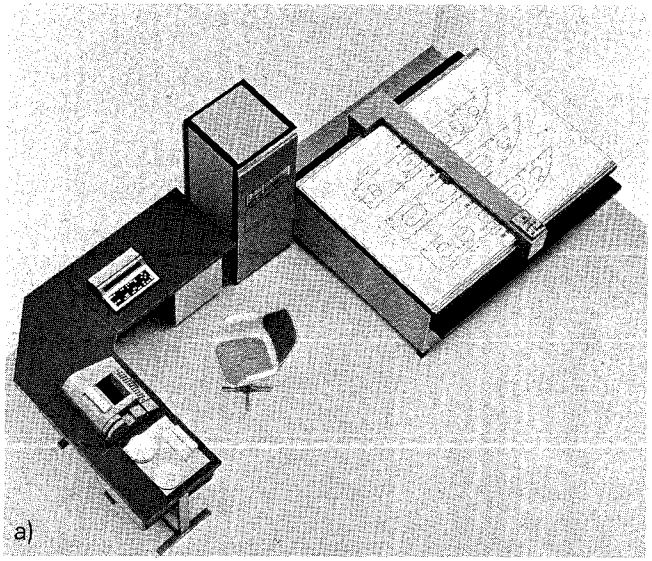


Bild 12/32. Numerisch gesteuertes Bearbeitungszentrum zur Bearbeitung von großen und komplizierten Maschinenteilen.

Zum Beispiel kann das automatische Arbeiten einer Zeichenmaschine mit Hilfe einer numerischen Steuerung in ganz ähnlicher Weise erreicht werden wie bei einer Werkzeugmaschine:

Die Bewegungen des Zeichenstiftes auf dem Zeichenblatt werden digitalisiert, d.h. hierbei, in elementare Bewegungsschritte in zwei Richtungen (X- und Y-Koordinaten) zerlegt. Die Weginformationen und die Schaltinformationen (z.B. Zeichenunterbrechung, Stift- oder Farbwechsel) werden in einem Steuerungsprogramm zusammengestellt und auf Lochstreifen oder einem anderen Datenträger binär gespeichert. Der Antrieb des Zeichenstiftes erfolgt über eine bewegliche Schiene (X-Richtung) und einen Laufwagen auf dieser Schiene (Y-Richtung) mit Hilfe von Schrittmotoren, Bild 12/33.



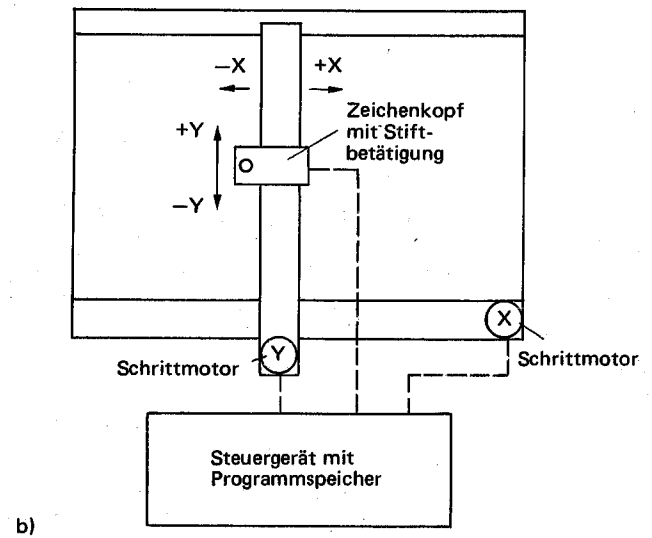


Bild 12/33. Numerisch gesteuerte Zeichenanlage.
a) Ausführungsbeispiel, Zeichengeschwindigkeit max 300 mm/s, Auflösung 0,1 mm (Inkrement).
b) Prinzip.

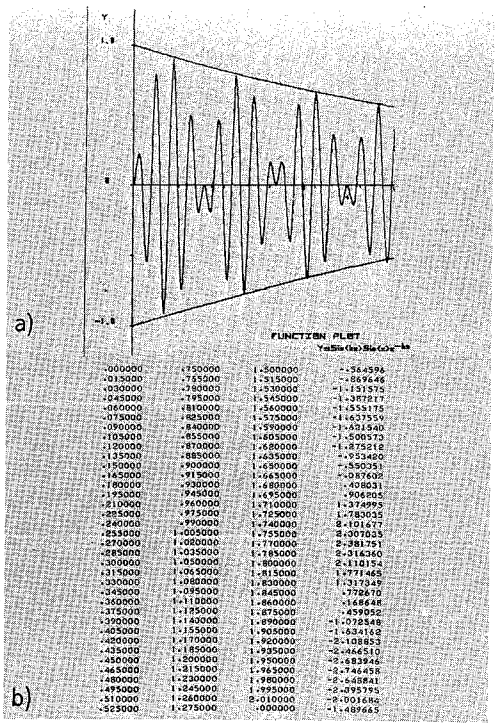
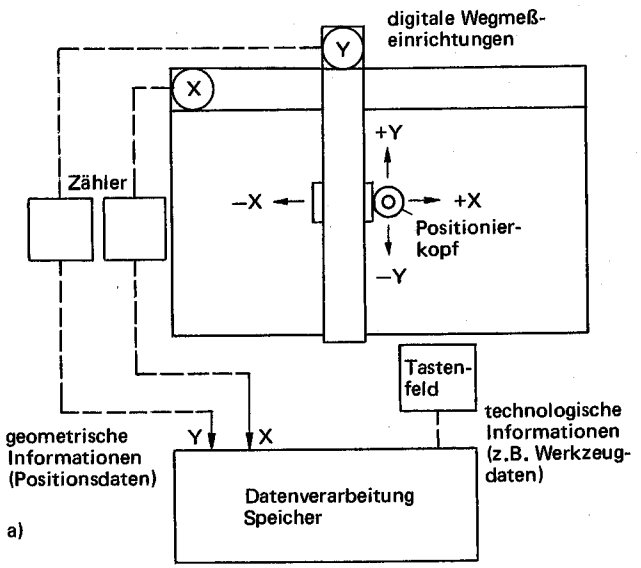


Bild 12/34. Grafiken sind anschaulicher als Zahlenkolonnen.
a) Grafik.
b) Zahlenkolonne.



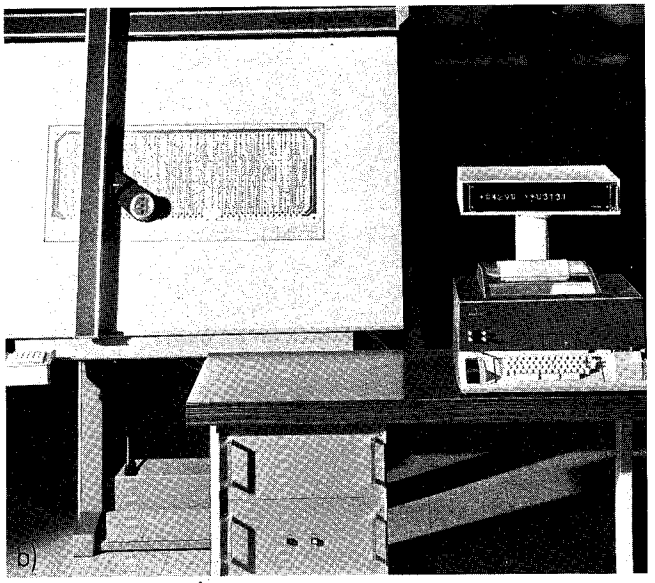


Bild 12/35. Numerisches Koordinatenlesegerät.
a) Prinzip.
b) Ausführungsbeispiel.

Numerisch gesteuerte Zeichenanlagen eignen sich besonders zur Erstellung von wiederkehrenden und ähnlichen Konstruktionszeichnungen, zum Zeichnen von Schaltplänen mit vielen gleichartigen Symbolen, zum Zeichnen von gedruckten Schaltungen und Maskenvorlagen für integrierte elektronische Schaltkreise. Vergrößerungen, Verkleinerungen und die Änderung des Maßstabes nur in einer Koordinate sind mit diesen Zeichenmaschinen ohne weiteres möglich, indem die eingegebenen Daten entsprechend umgerechnet werden. Digitale Daten, die in langen unübersichtlichen Zahlenkolonnen als Ergebnisse von Forschungen, Untersuchungen und Messungen anfallen, lassen sich mit numerisch gesteuerten Zeichenanlagen als anschauliche, übersichtliche Grafiken darstellen, Bild 12/34.

So können Vermessungsdaten in Landkarten, betriebswirtschaftliche Statistiken in Balkendiagramme, Statikberechnungen in Bauwerkprofile umgesetzt werden. Selbst im künstlerischen Bereich, wie beim Entwerfen und Variieren von Bildmustern, können numerisch gesteuerte Zeichenanlagen hilfreich sein.

Während mit einer numerisch gesteuerten Zeichenmaschine digital formulierte Informationen in grafische Darstellungen umgewandelt werden, wird mit einem numerisch arbeitenden Koordinatenlesegerät, Bild 12/35, der umgekehrte Prozeß abgewickelt:

Zweidimensionale analoge Darstellungen werden abgetastet, gelesen und in digitale Daten umgesetzt, die auf einem Lochstreifen oder einem anderen Datenträger binär gespeichert werden.

Auf diese Weise lassen sich z.B. die Aufzeichnungen von Kennlinienschreibern, fotografische Aufnahmen von Oszillogrammen, Röntgenaufnahmen, elektromedizinische Diagramme, Luftbildaufnahmen, Geländeprofile, Schnittmuster in der Bekleidungsindustrie und Konstruktionszeichnungen aus dem Maschinenbau digital erfassen und auswerten.

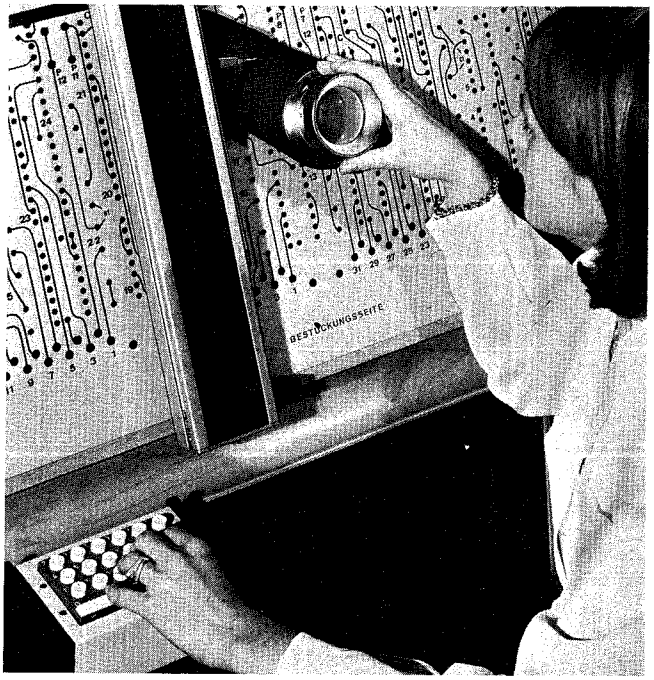


Bild 12/36. Aufnahme von Positionierungsdaten von einer Vorlage für eine gedruckte Schaltung mit dem Koordinatenlesegerät.

Die Funktion des Koordinatenlesegerätes sei an folgendem Anwendungsfall erläutert:

Wenn z.B. Positionen für die Bohrlöcher einer gedruckten Schaltung aufgenommen werden sollen, wird von einem festgelegten Bezugspunkt aus der Positionierkopf der Leseeinrichtung von Hand nacheinander zu allen Positionen geführt, die datenmäßig erfaßt werden sollen, Bild 12/36. Die Verschiebungen des Positionierkopfes in Richtung der x- und der y-Koordinate werden mittels digitaler Wegmeßeinrichtungen in Form von Zählimpulsen aufgenommen und Vorwärts-Rückwärts-Zählern zugeführt. Die Zählerstände werden angezeigt und jeweils bei Erreichen einer Position, die registriert werden soll, durch einen von der Bedienungsperson ausgelösten Schaltbefehl einem Datenspeicher zugeführt. Über ein Tastenfeld können zusätzlich zu den Weginformationen codierte Steuerinformationen (z.B. „Bohren in Position 1") eingegeben werden, so daß ein vollständiges Steuerungsprogramm für eine Schaltplatinen-Bohrmaschine erstellt werden kann. Bild 12/37 zeigt eine Mehrspindel-Bohrmaschine zum Bearbeiten von gedruckten Schaltungen, die millionenfach in der Elektronik verwendet werden.

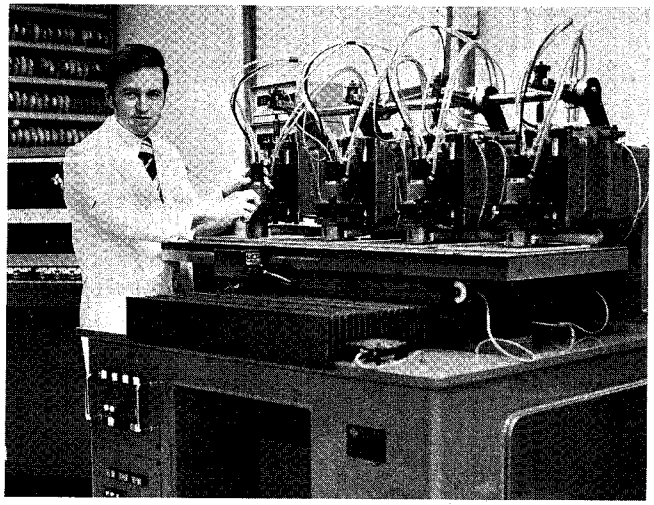


Bild 12/37. Numerisch gesteuerte Mehrspindel-Bohrmaschine für gedruckte Schaltungen.

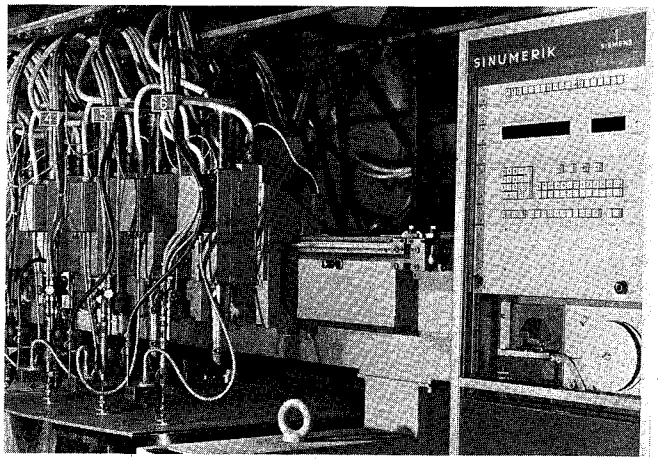
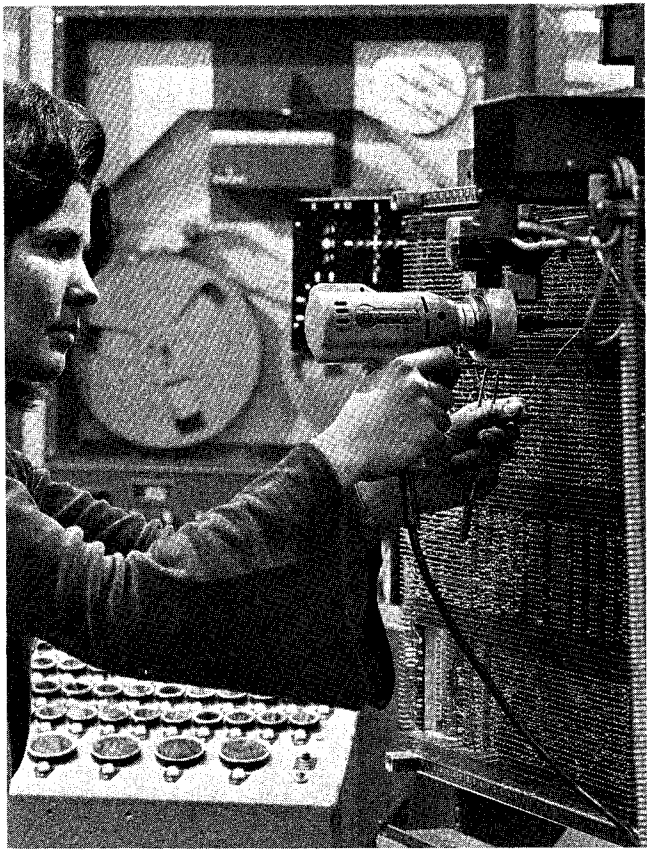


Bild 12/38. Numerisch gesteuerte Brennschneidmaschine zum Zuschneiden von Grobblechen.



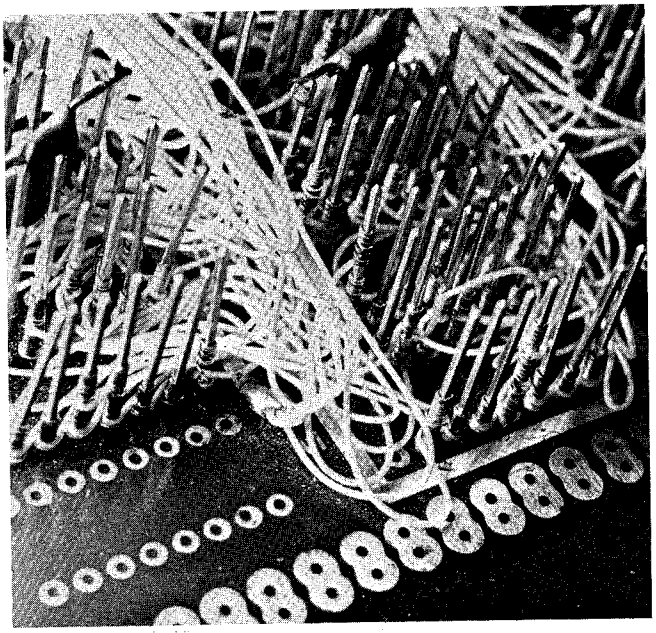


Bild 12/40. Beispiel einer Wire-Wrap-Verdrahtung.

Bild 12/39 (links). Numerisch gesteuerte Verdrahtungsanlage. Automatische Positionierung und Drahtsortenanzeige, Kontaktierung mit Wire-Wrap-Werkzeug).

Das Erstellen von Steuerungsprogrammen mit Hilfe von Koordinatenlesern lohnt sich bei allen numerisch gesteuerten Einrichtungen, die viele einzelne Positionsdaten verarbeiten müssen. Dies gilt z.B. für die Anfertigung von Steuerungsprogrammen für Maschinen zur Herstellung integrierter Halbleiterschaltungen, für Zuschneidemaschinen in der blechverarbeitenden Industrie, Bild 12/38, und auch in der Bekleidungsindustrie, für Maschinen zum Umzeichnen von Landkarten und für Verdrahtungsautomaten in der Elektroindustrie.

Bild 12/39 zeigt einen Verdrahtungshalbautomaten, bei dem die erforderlichen Daten zum Verdrahten von Schaltpunkten auf einem Lochstreifen gespeichert sind und Satz für Satz abgerufen werden können.

Das Verdrahtungsfeld ist auf die spezielle Verdrahtungsmethode zugeschnitten. Kontaktiert wird im angeführten Beispiel nach dem sog. Wire-Wrap-Verfahren, bei dem die blanken Drahtenden nicht verlötet, sondern mittels eines Werkzeuges, das äußerlich einer Handbohrmaschine ähnelt, fest um die vorhandenen Anschlußstifte gewickelt werden, Bild 12/40.

Die verschiedenen notwendigen Drahtabschnitte werden bei dieser Verdrahtungsanlage in einzelnen Köchern eines Drahtvorratsbehälters aufbewahrt. Wenn eine Drahtverbindung hergestellt werden soll, wird das Verdrahtungswerkzeug, mit dem ein Drahtende um einen Kontaktstift gewickelt werden kann, zuerst zum Anfangspunkt der Verbindung gefahren. Dann entnimmt die Bedienungsperson

einem Vorratsköcher, der durch eine aufleuchtende Lampe gekennzeichnet wird, den passenden Draht und befestigt ihn mit dem in Position stehenden Verdrahtungswerkzeug am zutreffenden Kontaktstift. Danach wird das Verdrahtungswerkzeug mit Hilfe der numerischen Steuerung zur nächsten im Programm vorgesehenen Verdrahtungsposition bewegt, wo der Draht mit seinem anderen Ende befestigt wird.

Bis auf ein manuelles Richten bzw. Einlegen des Drahtes in das Verdrahtungsfeld hat die Bedienungsperson keine weiteren Arbeiten auszuführen.

Der Vorteil der numerisch gesteuerten Verdrahtungsanlage besteht vor allem in der weitgehenden Ausschaltung von Fehlern und in der Zeitersparnis.

Übung 12/9 **Verständnisübung**

Schaltung für mehrfache Meßwerterfassung.

Bei einer mehrfachen Meßwerterfassung gemäß Bild 12/41 seien vier Lichtbündel parallel für vier Photodioden vorgesehen. Von je einer der Dioden kommt eines der Signale *A*, *B*, *C*, *D*. Eine Stellung entspricht dem Meßwert L, wenn mindestens drei dieser vier Signale auf L stehen.

a) Wie lautet die Funktionsgleichung einer Funktion *F* von *A*, *B*, *C*, *D*, die dann den Wert *L* hat, wenn mindestens drei der Variablen *A*, *B*, *C* und *D* auf L stehen?

b) Klammern Sie in dem logischen Ausdruck für *F* aus den vorderen drei UND-Verknüpfungen *A* aus, und aus dem mit *A* dann UND-verknüpften Teilausdruck, soweit möglich, noch *B*.

c) Entwerfen Sie eine Schaltung für *F* gemäß der Lösung von Übung b).

d) Stellen Sie die Schaltung in der Lösung von Übung c) um auf NOR (vgl. die Übungen zu Kap. 5. Gehen Sie davon aus, daß auch die Signale $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{C}$ und $\overline{D}$ verfügbar sind).

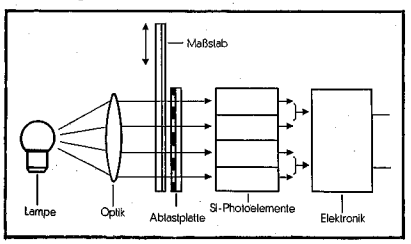


Bild 12/41. Mehrfache Meßwerterfassung (Prinzip).

Übung 12/10 **Fallstudie**

Vergleich zwischen direkter und indirekter Wegmessung.

Ein Drehmaschinen-Schlitten wird mittels einer Spindel bewegt. Der Vorschub je Spindelumdrehung beträgt 4 mm. Die beiden Extremstellungen des Schlittens entsprechen einem Abstand von 1 m. Die Stellung des Schlittens soll auf 0,01 mm genau gemessen und binär verschlüsselt werden.

a) Wieviel Strichmarkierungen müßte bei direkter Wegmessung das Meßlineal haben? Wie breit wäre ein Strich?

b) Wieviel Spuren müßte bei absoluter Wegmessung das Meßlineal haben?

c) Der Drehspindel sei eine Codescheibe aufgesetzt. Der von einer Photodiode abgetastete Kreis habe einen Durchmesser von 10 cm. Wie lang ist der Teil des Kreisumfangs, der einer Schlittenbewegung von 0,01 mm entspricht?

d) Wieviel Meßschritte entsprechen einer vollen Spindelumdrehung? Wieviel Spuren bräuchte man auf der Codescheibe, um das absolut in binärer Codierung zu messen?

e) Könnte man die gestellte Aufgabe mittels einer Codescheibe im Sinne einer absoluten Wegmessung lösen?

f) Wäre unter Berücksichtigung der Lösung von Übung e) eine absolute Messung der Spindelstellung gemäß Übung d) sinnvoll?

g) Welche Vorteile und welche Nachteile können Sie für die direkte bzw. indirekte Wegmessung im Sinne dieser Aufgabe angeben? (Bedenken Sie auch Plazierung und Ausdehnung der Meßwert-Erfassungsapparatur.)

13. Computerrechnen – Schnelligkeit ist keine Hexerei

Rechner – Computer

Die Erfindung des Computers, auch automatische Datenverarbeitungsanlage oder kurz DVA genannt, hat eine zweite technische Revolution eingeleitet. Während Dampfmaschine, Elektrizität und Verbrennungsmotor die menschliche Muskelkraft vervielfacht – und entlastet – haben, übernimmt der Computer mit einem beachtlichen Verstärkungsfaktor geistige Routinearbeit. Nach der Mechanisierung beginnt eigentlich erst mit dem Computer das Zeitalter der Automation. Die Auswirkungen sind derzeit nur in Ansätzen abzusehen im positiven wie im negativen Sinne.

– Technisch: Die menschenleere Fabrik ist keine Utopie mehr.
– Wirtschaftlich: Die Computerbranche erbringt bereits einen erheblichen Teil des Bruttosozialprodukts.
– Sozialpolitisch: Ganze Berufszweige formen sich um.
– Gesellschaftspolitisch: Kontrolle und gezielte Beeinflussung des Menschen werden in bisher unvorstellbarem Umfange ermöglicht.

Der Bau betriebssicherer Computer war erst möglich, als hinreichend funktionssichere digitaltechnische Bauelemente verfügbar waren. Hier war man gezwungen,

– die Bauelemente dichter zu packen,
– schneller zu schalten,
– in großen Mengen wirtschaftlich zu produzieren und
– in großer Anzahl funktionssicher zusammenzubauen.

Hier war ein entscheidender Antrieb für die Digitaltechnik. In einem einzigen Computer sind z.B. hunderttausend und mehr Transistorfunktionen enthalten. Dies war ein wesentlicher Grund für die Entwicklung integrierter Schaltkreise.

Im Rahmen dieses Kapitels kann die Wirkungsweise des Computers nur sehr grob geschildert werden, lediglich eines seiner Grundprobleme, die *Addition dualer Zahlen,* wird detailliert behandelt.

Was und wie arbeiten Computer?

In der Bundesrepublik Deutschland waren 1974 – von der sog. mittleren Datentechnik einmal abgesehen – etwa 10 000 elektronische Datenverarbeitungsanlagen installiert. Der Kaufpreis einer solchen Anlage schwankt zwischen einigen Hunderttausend und mehreren Millionen DM. Diese Anlagen könnten zusammen pro Kopf der Bevölkerung täglich einige Millionen Additionen leisten, wenn sie ununterbrochen nur mit Addieren beschäftigt wären. Hier zwingt sich die Frage auf, was da wohl alles gerechnet wird.

Nun ist zunächst zu beachten, daß die aufgezeigte Anzahl möglicher Additionen nur ein schlecht passender Maßstab für die vorhandene Kapazität ist. Eine Datenverarbeitungsanlage hat nämlich außer der Addition – und den sonstigen Rechenoperationen – vielfältige andere Leistungen zu erbringen. Ein wesentlicher Teil davon besteht in der Kommunikation mit der „Außenwelt". Die Datenverarbeitungsanlage nimmt von dort in Eingabeoperationen Daten entgegen bzw. gibt nach dort in Ausgabeoperationen Daten ab. Jeder von uns erhält in Form von Lohnabrechnungen, Rechnungen für erhaltene Ware, Kontoauszügen und Steuerbescheiden vom Computer erstellte Belege; er stellt z.B. bei Volkszählungen, Umfragen, Zahlungsanweisungen usw. Informationen für die Datenverarbeitung zur Verfügung. Diese Daten bestehen aus Ziffern, Buchstaben und sonstigen Druckzeichen. Vielfach handelt es sich nämlich um sog. Alphadaten wie Namen, Adressen oder Artikelbezeichnungen. In diesen Fällen interessieren nicht nur Rechenoperationen. So ist etwa festzustellen, welcher von zwei Namen alphabetisch zuerst kommt oder wo ein bestimmter Begriff in einer alphabetisch geordneten Folge einzufügen ist. Einzeldaten, wie Namen oder Rechnungsbeträge, müssen meist zu vielen Millionen im Computer verfügbar gehalten werden. Die Datenverarbei-

tungsanlage legt die einzelnen Daten auf einem ihrer verschiedenartigen Datenspeicher ab. Bei der Auswahl des Datenspeichers muß insbesondere die Zugriffszeit berücksichtigt werden. So nennt man die Zeitspanne, in der eine im Speicher abgelegte Date bei Bedarf wieder „herausgeholt" werden kann. Diese Zugriffszeit schwankt bei verschiedenartigen Datenspeichern zwischen etwa einer Millionstel Sekunde und mehreren Sekunden. Da die „Lagerkosten" einer Date je nach Speicherart sehr verschieden sind, werden mehrere Speichertypen an einen Computer angeschlossen. Während eines Datenverarbeitungsprozesses wechseln die Daten mehrfach den Speicherplatz, je nachdem, ob sie für einen schnellen Zugriff bereitgehalten werden müssen oder nicht. Die hierfür erforderlichen Verwaltungs- und Datentransferprozesse beschäftigen den Computer ebenso wie die Organisation seiner sonstigen Tätigkeiten. Aus einer anstehenden Warteschlange von Aufgaben ist jeweils eine auszuwählen, je nach ihrer Priorität und der Auslastung der einzelnen Teilgeräte des Computers. Mehrere Teilwerke sind gleichzeitig mit verschiedenen Aufgaben betraut. Dieser ständige Organisationsprozeß, der zu einer optimalen Nutzung führen soll, beansprucht wesentliche Teile der Leistungskraft eines Computers, s.a. Bild 13/1 bis 13/6 und Tabelle 13/1.

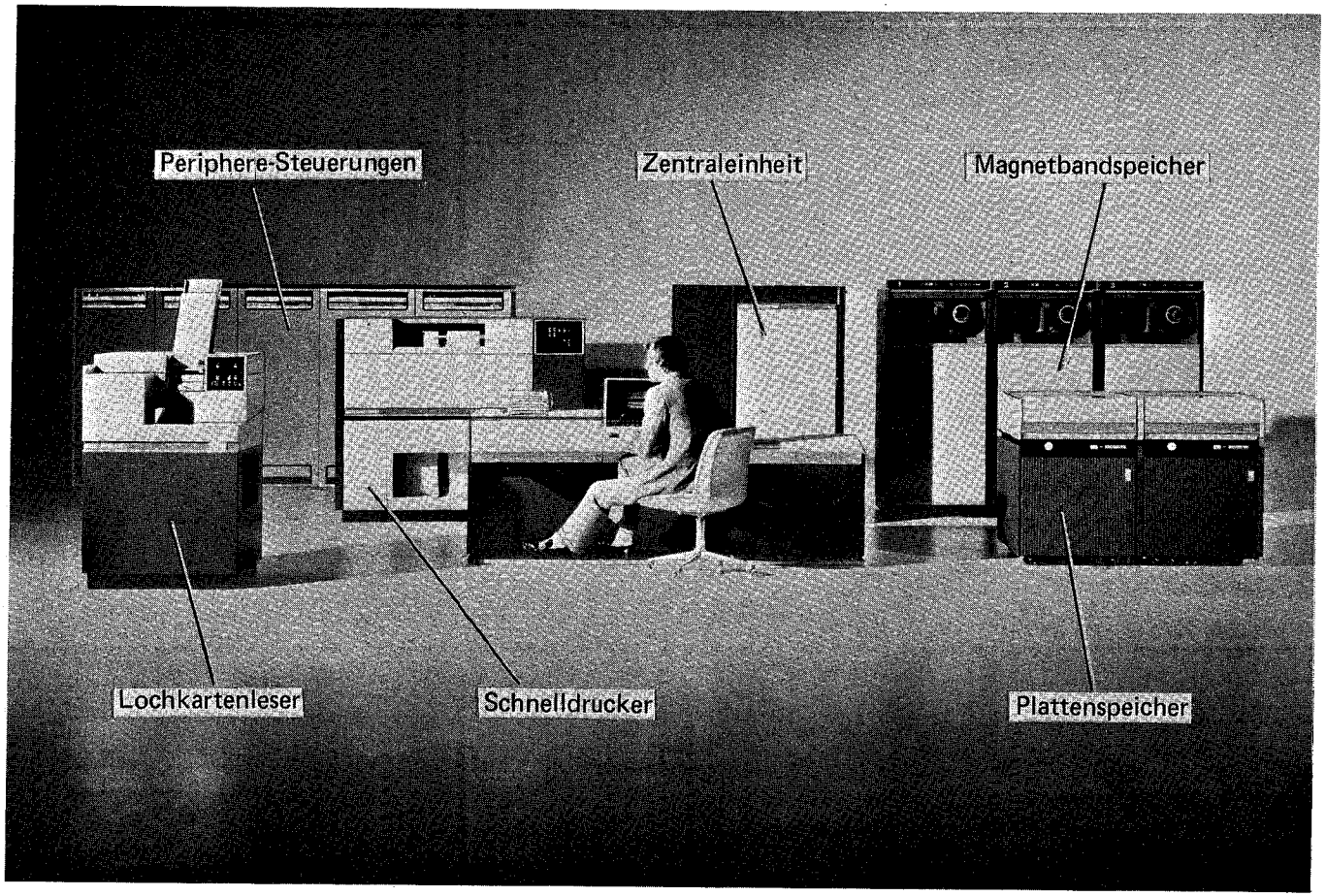


Bild 13/1. Die Datenverarbeitungsanlage SIEMENS 4004/220.

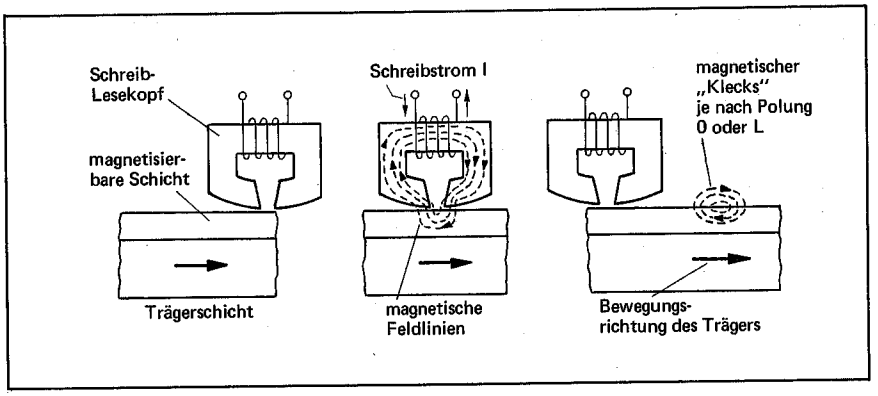


Bild 13/2. Schreibvorgang bei magnetomotorischen Speichern (Trommel, Platte, Band).

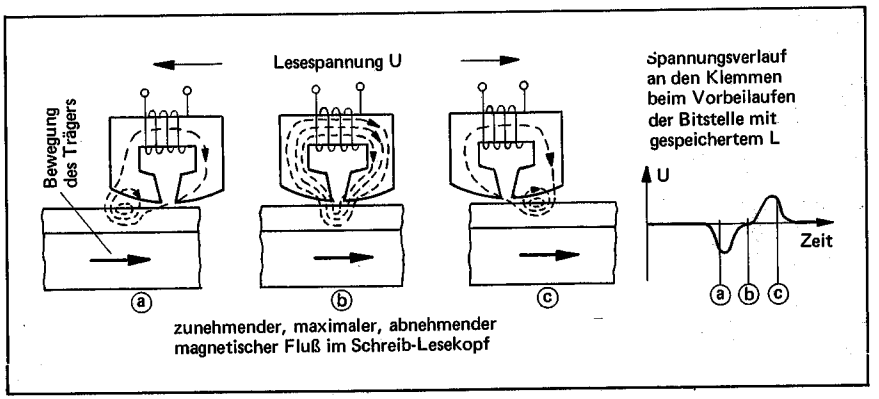


Bild 13/3. Lesevorgang bei magnetomotorischen Speichern.

Speicherart	(mittlere) Zugriffszeit ca.	Kosten/bit rd.
Magnetband	je nach Programmorganisation mehrere Sekunden	0,001 DM/bit
Magnetplatte mit bewegten Lese-/Schreib-Köpfen	80 ms	0,0024 DM/bit
Magnettrommel bzw. -platte mit feststehenden Lese-/Schreib-Köpfen	10 ms	0,026 DM/bit
Ferrit-Ringkern	0,1 μs	1,– DM/bit
Flip-Flop	10 ns	15,– DM/bit

Anmerkung: 1 ms = 0,001 s
1 μs = 0,000001 s
1 ns = 0,000000001 s

Tabelle 13/1. Zugriffszeit und Kosten (s.a. Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1967).

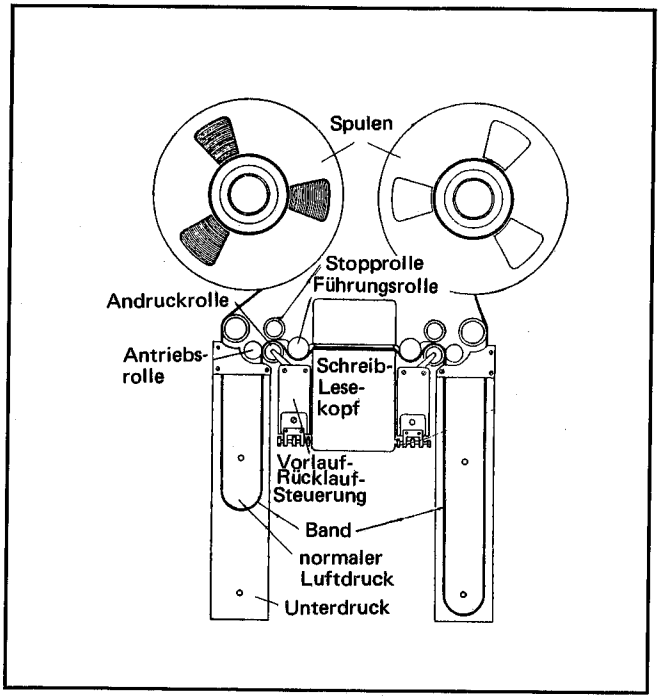


Bild 13/4. Aufbau eines Spulenbandgeräts (s.a. Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1967).

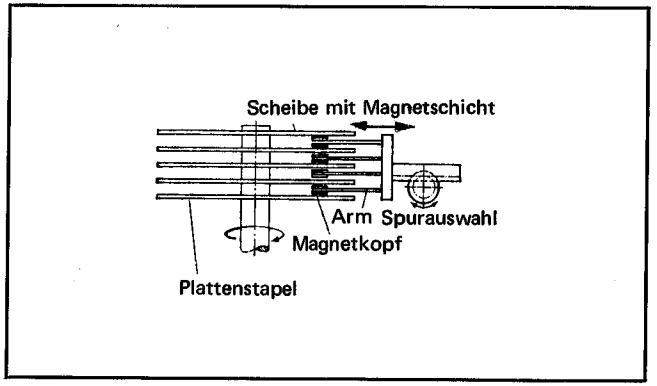


Bild 13/5. Plattenstapel mit einfahrbarem Kamm von Schreib-Lese-Köpfen (s.a. Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1967).

Die gezeigten Speicher (Bild 13/4 und 13/5) arbeiten ähnlich wie ein Tonband. Die einzelnen Bits werden als „magnetische Kleckse" in sog. Spuren auf einer bewegten, magnetischen Schicht aufgebracht. Der „Klecks" bzw. die Schreibstelle muß am Lesekopf vorbeibewegt werden, wenn man das Bit aus dem Speicher „herausholen" will. Das Band muß dazu bis zur gewünschten Stelle umgespult werden, was bei einer Gesamtlänge von ca. 1 000 m bis zu zwei Minuten dauern kann. Auf dem Band liegen heute 9 Bitspuren parallel, jeweils 9 Bits werden gleichzeitig geschrieben oder gelesen. Beim Plattenspeicher sind die Spuren konzentrische Kreise. Die Bits werden nacheinander auf den gleichen Kreis geschrieben bzw. von da gelesen.

Obwohl diese grob skizzierte Aufgabe nicht einfach ist, gilt auch hier das Prinzip der kleinen Schritte. In der Tat ist die Anzahl der verschiedenartigen Grundoperationen, die ein Computer „von sich aus" auszuführen vermag, nur von der Größenordnung Hundert. Jede dieser Operationen ist überschaubar und vergleichsweise einfach, so wie etwa die Addition zweier Zahlen zu ihrer Summe. Auch kompliziertere Verarbeitungsprozesse, wie z.B. eine Lohnabrechnung, setzen sich in einer vom Programmierer genau festgelegten Reihenfolge aus derartigen Einzelschritten zusammen. Der Eindruck einer überwältigenden und vielleicht unheimlichen Leistungsfähigkeit der Anlagen wird hauptsächlich ausgelöst durch ihre

- Geschwindigkeit und
- Exaktheit bzw. Fehlersicherheit.

Dabei erledigt aber die Anlage nur und ausschließlich die vom Programmierer vorweggedachten Prozesse. Es muß ihr außerdem in allen Details, nämlich als Reihenfolge von Computeroperationen, vorgeschrieben werden, was zu tun ist. Datenverarbeitungsanlagen sind also dumm, aber flink und zuverlässig.

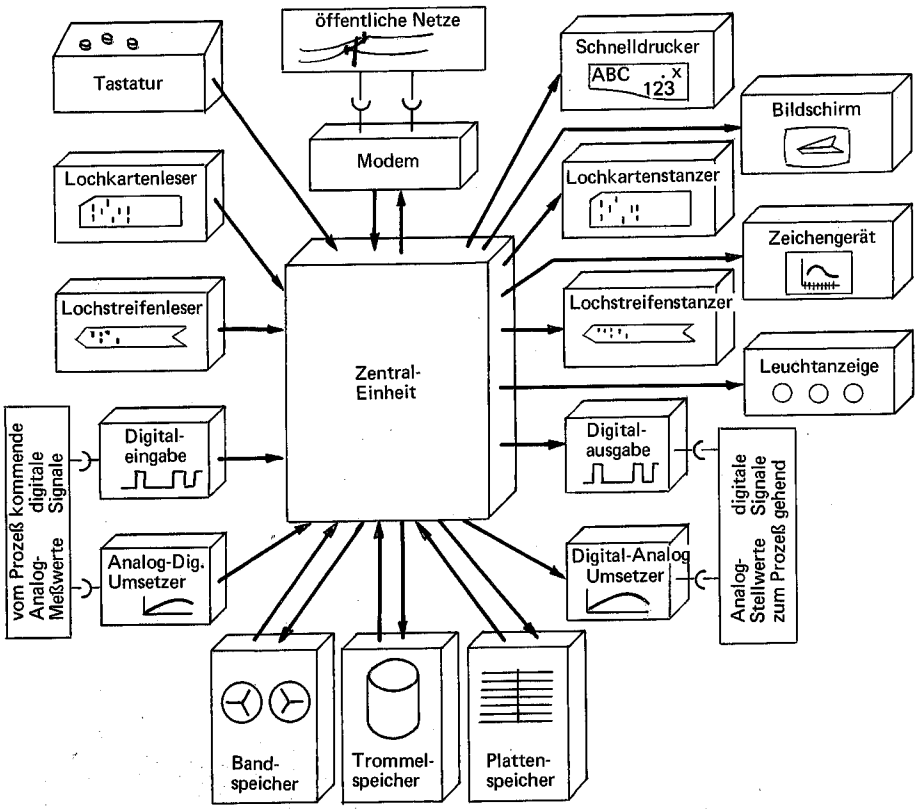


Bild 13/6. Zentraleinheit mit Peripherie (Eingabe, Ausgabe, Hilfsspeicher).
Um die Zentraleinheit mit ihrer extrem hohen Geschwindigkeit – dort kommen nur elektronische Bauteile vor – sind die wesentlich langsameren peripheren Geräte – hier spielen immer elektromechanische Abläufe eine Rolle – gruppiert.

Einsatzbereiche des Computers

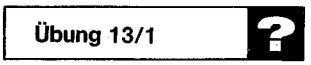
Je nach Datenmenge, Verarbeitungsart und Reaktionszeit kann man unterscheiden, vgl. Tabelle 13/2:

- kommerzielle Datenverarbeitung,
- technisch-wissenschaftliche Berechnungen,
- Prozeßsteuerung.

Gegenüber dem kommerziellen Einsatzbereich mit seinen umfangreichen und vielfältigen Dateien ist die Datenmenge bei technisch-wissenschaftlichen Berechnungen meist gering. Während aber der Rechengang etwa bei einer Lohnabrechnung oder Buchhaltung einfach ist, müssen bei der Berechnung einer Brücke, eines Fotoobjektivs oder der Bahn einer Weltraumsonde komplizierte Rechenprozesse, meist in vielfacher Wiederholung mit verschiedenen Anfangswerten durchgeführt werden. Die Reaktionszeit des Rechners, d.h. die Zeit von der Eingabe der Daten bis zur Bereitstellung der Ergebnisse, ist in beiden Anwendungsbereichen uninteressant. Dagegen arbeitet der Computer bei der Prozeßsteuerung im sog. Echtzeitbetrieb (real time). Bei der Steuerung eines technischen Prozesses – Kraftwerk, Hochofen, Walzenstraße, Kernreaktor, Kühlschiff, Weltraumfahrt – ist der Computer nämlich eingabe-, ausgabe- oder beidseitig unmittelbar, d.h. ohne menschlichen Eingriff über Meß- und Stelleinrichtungen an den technischen Prozeß angekoppelt. Wenn nun etwa die Temperatur des Achslagers einer Turbine einen bestimmten Wert überschreitet, so müssen sehr schnell die Ausgabedaten, die das Abschalten bewirken, zur Verfügung stehen.

Tabelle 13/2. Charakteristische Einsatzbereiche.

Einsatzbereich	Datenmenge	Verarbeitungsart	Reaktionszeit
kommerzielle Datenverarbeitung	groß, stark strukturiert	wenige, einfache Operationen	uninteressant
technisch-wissenschaftliche Berechnungen	gering an Zahl u. Vielfalt	komplizierte, langwierige Rechenprozesse	uninteressant
Prozeßsteuerung	mittlerer Umfang	mehr logische als arithmetische Prozesse	klein evtl. ms.

Übung 13/1  **Verständnisübung**

Welcher der drei Gesichtspunkte Datenmenge, Verarbeitungsart und Reaktionszeit ist für jeden einzelnen der drei Einsatzbereiche in Tabelle 13/2 von besonderer Bedeutung?

Aufbau und Wirkungsweise der Zentraleinheit

Teilwerke und Datenfluß

Eine Datenverarbeitungsanlage besteht aus einer Zentraleinheit, Bild 13/7, und bestimmten peripheren Teilwerken. Die Peripherie umfaßt Eingabe- und Ausgabegeräte sowie Hilfsspeicher. Die Teilwerke der Zentraleinheit sind gezeigt. „Eingabe" und „Ausgabe" sind die Anschlußstellen für die peripheren Geräte wie z.B. Lochkartenleser oder Magnetbandgeräte. Alle von der Peripherie kommenden

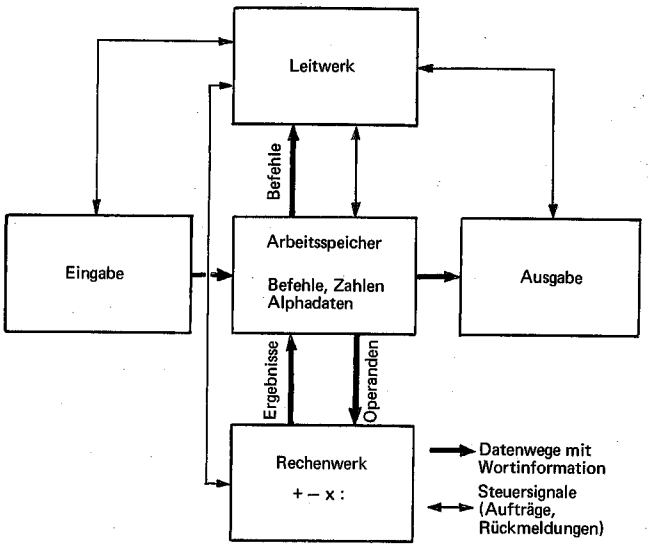


Bild 13/7. Blockbild der Zentraleinheit.

Daten gelangen zunächst einmal in den Arbeitsspeicher und alle in die Peripherie gehenden Daten kommen von dort. Der Arbeitsspeicher ist der große Verschiebebahnhof für alle Daten. Von dort versorgt sich auch das Leitwerk und von dort wird das Rechenwerk bedient. Ebenso werden die Ergebnisse aus dem Rechenwerk in Arbeitsspeicher abgelegt.

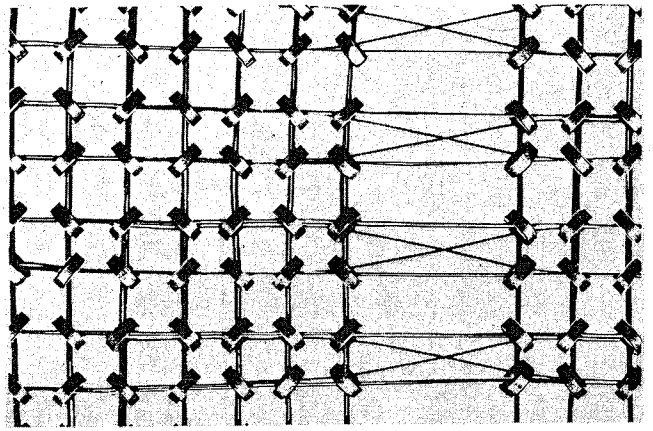


Bild 13/8. Ausschnitt eines Magnetkernspeichers (IBM).
Ausschnitt eines Magnetkernspeichers in mehrfacher Vergrößerung. Durch die matrixartig angeordneten Ferritkerne sind Spalten-, Zeilen- und Lesedrähte gezogen. Ein Ferritkern (Außendurchmesser bis rd. 2 mm) kann in rd. 1 µs von der einen in die andere Richtung ummagnetisiert werden und damit 1 Bit aufnehmen.

Arbeitsspeicher

Die heute üblichen Arbeitsspeicher, vgl. Bild 13/8 und 13/9, sind aus Magnetkernen aufgebaut. Der Arbeitsspeicher besteht aus numerierten Speicherzellen. Die Nummer einer Speicherzelle nennt man ihre Adresse. Eine solche Zelle ist ein Register, das eine bestimmte Anzahl Bits speichern kann. Im folgenden werden je Zelle 32 bit vorausgesetzt. Das entspräche etwa 9 dezimalen Stellen und wäre eine für die meisten Anwendungen ausreichende Genauigkeit. Eine Speicherzelle kann also eine Dualzahl aus 31 Stellen und einem Vorzeichen aufnehmen. Wenn man den Vorrat an Druckzeichen – Buchstaben, Ziffern, Punkt usw. – binär mit jeweils 8 bit codiert, so kann eine Zelle auch vier Zeichen speichern. Aber auch die Elementarschritte des Programms, nach dem der Computer arbeitet, die sog. Befehle, werden in den Zellen des Arbeitsspeichers verfügbar gehalten. Als neutrale Bezeichnung für den Inhalt einer Speicherzelle hat man den Begriff „Wort" geprägt. Ein Wort aus 32 bit kann also eine Dualzahl, eine Alphadate aus vier Druckzeichen oder ein Programmbefehl sein. In der Prozeßsteuerung kommt eine vierte Wortinterpretation vor, bei der jedes der 32 bit eine eigene Bedeutung hat. Die einzelnen Bits bestimmter Worte sind in diesem Fall bestimmten zum Prozeß gehörigen Maschinen zugeordnet und können von dort her über eine besondere Art der Eingabe von 0 auf L gesetzt werden. Dies bedeutet dann, daß die betreffende Maschine vom Computer einen Bedienungsvorgang benötigt.

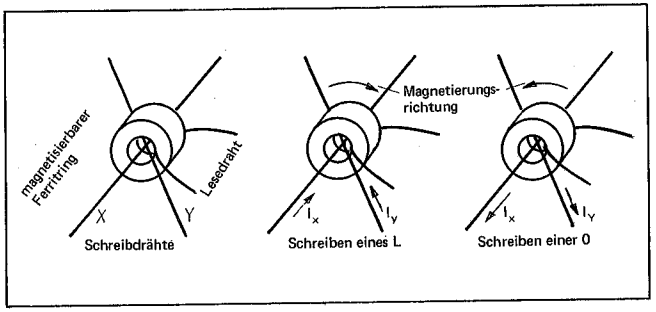


Bild 13/9. Prinzip des Magnetkernspeichers.
Eine L bzw. 0 wird durch bleibende Magnetisierung gespeichert. Die Schreibdrähte bilden ein rechteckiges Netz, an jedem Kreuzungspunkt sitzt ein Ringkern. Jeder Schreibstrom geht also durch viele Kerne. Die Schreibströme sind aber einzeln zu schwach, um die Magnetisierung eines Ringes umzupolen. Nur in jedem Ring, wo zwei stromdurchflossene Schreibdrähte sich kreuzen, wird die Polung neu festgelegt. Auf diese Weise kann man mit 100 X- und 100 Y-Drähten 10 000 Kerne einzeln ansteuern.

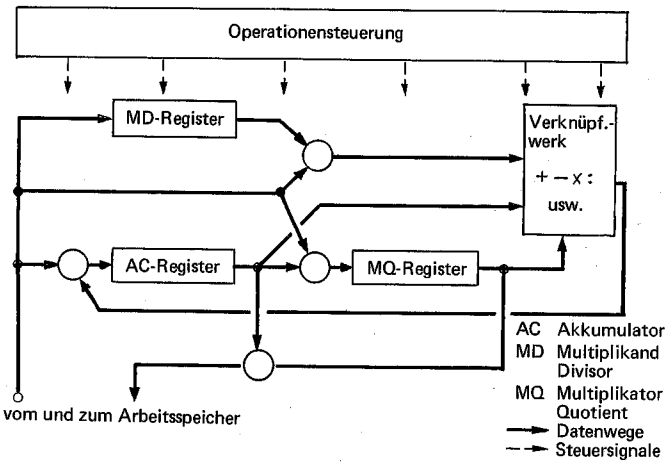


Bild 13/10. Blockbild eines Rechenwerks.
Das Bild zeigt die Normalausstattung eines Rechenwerks mit drei Registern und den zugehörigen Datenwegen. Die Wegverzweigungen werden von der Operationensteuerung her geschaltet, ebenso die Art der Verknüpfung.

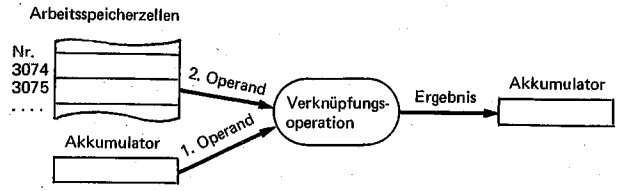


Bild 13/11. Ablauf einer Addition oder Subtraktion.

Tabelle 13/3. Programmausschnitt.

Speicher-zelle	Befehl		Wirkung
	Operations-teil	Adreß-teil	
8009	...		
8010	HOLE	3074	Inhalt von Zelle 3074 geht nach Akkumulator
8011	ADDIERE	3075	Inhalt von Zelle 3075 wird zu Inhalt von Akkumulator addiert
8012	SPEICHERE	3076	Inhalt von Akkumulator wird nach Zelle 3076 gebracht
8013	...		

Gelangen diese drei Befehle von den Speicherzellen 8010 bis 8012 der Reihe nach ins Leitwerk, so steht nach ihrer Abwicklung die Summe der beiden Zahlen aus den Zellen 3074 und 3075 in der Zelle 3076.

Rechenwerk

Für die arithmetischen Operationen ist das Rechenwerk zuständig, Bild 13/10, 13/11 sowie Tabelle 13/3. Die heute übliche Mindestausstattung umfaßt außer einer eigenen Steuerung, der Operationensteuerung, zwei Register, die meist Akkumulator- und Multiplikatorregister genannt werden. Das Akkumulatorregister enthält vor einer Addition den einen der beiden Summanden, der andere Summand befindet sich in einer der Zellen des Arbeitsspeichers. Nach einer Addition steht die Summe im Akkumulatorregister. Der zweite Summand wurde gewissermaßen zum ersten in dieses Register „akkumuliert"; von daher dessen Bezeichnung. Nach dem gleichen Schema laufen alle Rechenoperationen ab: zunächst ein Operand im Akkumulatorregister, der andere in einer der Speicherzellen, danach das Ergebnis im Akkumulator. Die Rechenoperationen werden durch bestimmte Befehle, die sog. arithmetischen Befehle ausgelöst. Sie bestehen im wesentlichen aus einem Operationsteil, der die Art der Rechenoperation kennzeichnet, und einem Adreßteil, der die Speicherzelle des zweiten Operanden angibt. Es befinde sich z.B. die Zahl LOL im Akkumulator und LLL in der Speicherzelle Nr. 3075. Bei einer Registerlänge von 32 bit befinden sich davor jeweils noch 29 Nullen. Wird nun ein Additionsbefehl mit dem Adreßteil 3075 ausgeführt, so wird die Summe LOL + LLL = LLOO gebildet und als Ergebnis im Akkumulator abgelegt. Während die dort zuvor befindliche LOL durch LLOO mit 28 Nullen vorweg ersetzt wird und somit verschwunden ist, hat sich der Inhalt der Speicherzelle 3075 nicht geändert, er ist nach wie vor LLL.

Jede arithmetische Operation wird im Rechenwerk in einer genau festgelegten Folge von logischen Operationen, von Negationen, UND- und ODER-Verknüpfungen ausgeführt. Diesen zeitlichen Ablauf zu steuern, ist Aufgabe der Operationensteuerung. Am Beispiel einer Addition wird dies später noch im einzelnen erläutert.

Übung 13/2 **Verständnisübung**

Es werde nun anschließend an die soeben geschilderte Addition ein Subtraktionsbefehl mit demselben Adreßteil 3075 ausgeführt. Was steht nach seiner Abwicklung im Akkumulator?

Leitwerk

Die Aufträge für die Operationensteuerung des Rechenwerks, z. B. „ADDIERE", kommen aus dem Leitwerk, s. a. Bild 13/7. Dieses veranlaßt gleichzeitig auch den Arbeitsspeicher, den benötigten zweiten Operanden adreßgerecht auszuwählen und zeitgerecht dem Rechenwerk zu überstellen, vgl. Bild 13/11. Die Aufgabe des Leitwerks ist es also, die einzelnen Teilwerke programmgemäß zu ihren Aktivitäten anzustoßen und diese zu koordinieren. Statt einer Rechenoperation sei als Beispiel die Ausgabe einer Druckzeile aus 120 Zeichen betrachtet. Diese Zeichen müssen zuvor als Acht-Bit-Gruppen, also je vier in einem von insgesamt 30 Worten in einem zusammenhängenden Speicherbereich zur Verfügung stehen. Das erste Wort könnte etwa auf der Speicherzelle mit der Adresse 7001, das letzte auf 7030 stehen. Der Ausgabebefehl hätte den Operationsteil „DRUCKE" und den Adreßteil 7001. Gelangt dieser Ausgabebefehl ins Leitwerk, so veranlaßt es Arbeitsspeicher und Drucker zum Transfer von insgesamt 30 Worten ab Zelle 7001 und den Drucker außerdem zur Abwicklung der entsprechenden Druckoperation.

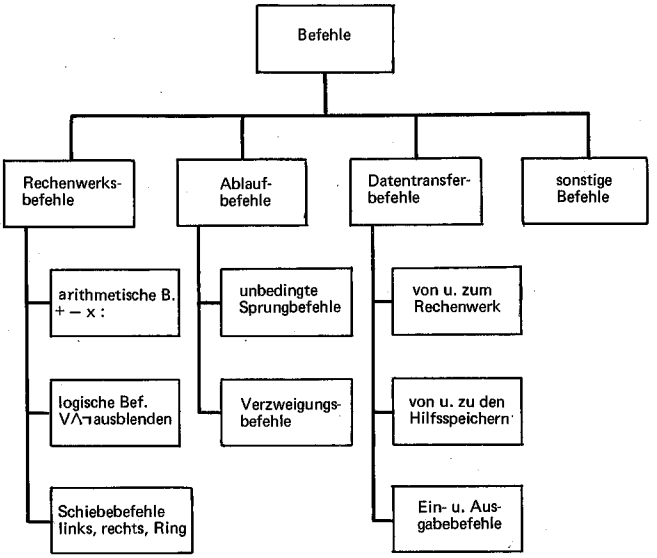


Bild 13/12. Befehlsarten.
Dieses Bild zeigt die wichtigsten Befehlsgruppen eines modernen Computers. Man beachte, daß auch die logischen Grundfunktionen unmittelbar als Rechenwerksbefehle zur Verfügung stehen. Bei einem UND-Befehl z.B. werden jeweils die beiden Bits gleicher Stelle von zwei Worten UND-verknüpft. Bei Schiebebefehlen werden die Bits in einem Register nach links oder rechts um eine wählbare Stellenzahl verschoben. Bei einem Ausblendbefehl werden wählbar bestimmte Bits im Akkumulator auf Null gesetzt, die andern bleiben ungeändert.

Übung 13/3 ? **Verständnisübung**

a) Welches sind die (wesentlichen) Bestandteile eines Befehls und was bedeuten sie?

b) Wie unterscheiden sich Leitwerk und Operationensteuerung des Rechenwerks hinsichtlich der Computerteile, für die sie Steuerungsfunktionen ausüben, und ihres gegenseitigen Verhältnisses?

Tabelle 13/4. Mögliche Bedeutungen eines Worts aus 32 Bits.

Stellen-Nummer	31 24	16	8	0
Stelleninhalt	000LL0L0	00000000	LL00000L	LLLL0L0L
als Alphadate:	Punkt	Leeranschlag	A	5
als Befehl:	Addiere	Inhalt von Zelle 49653		
als Dualzahl:	436257269			

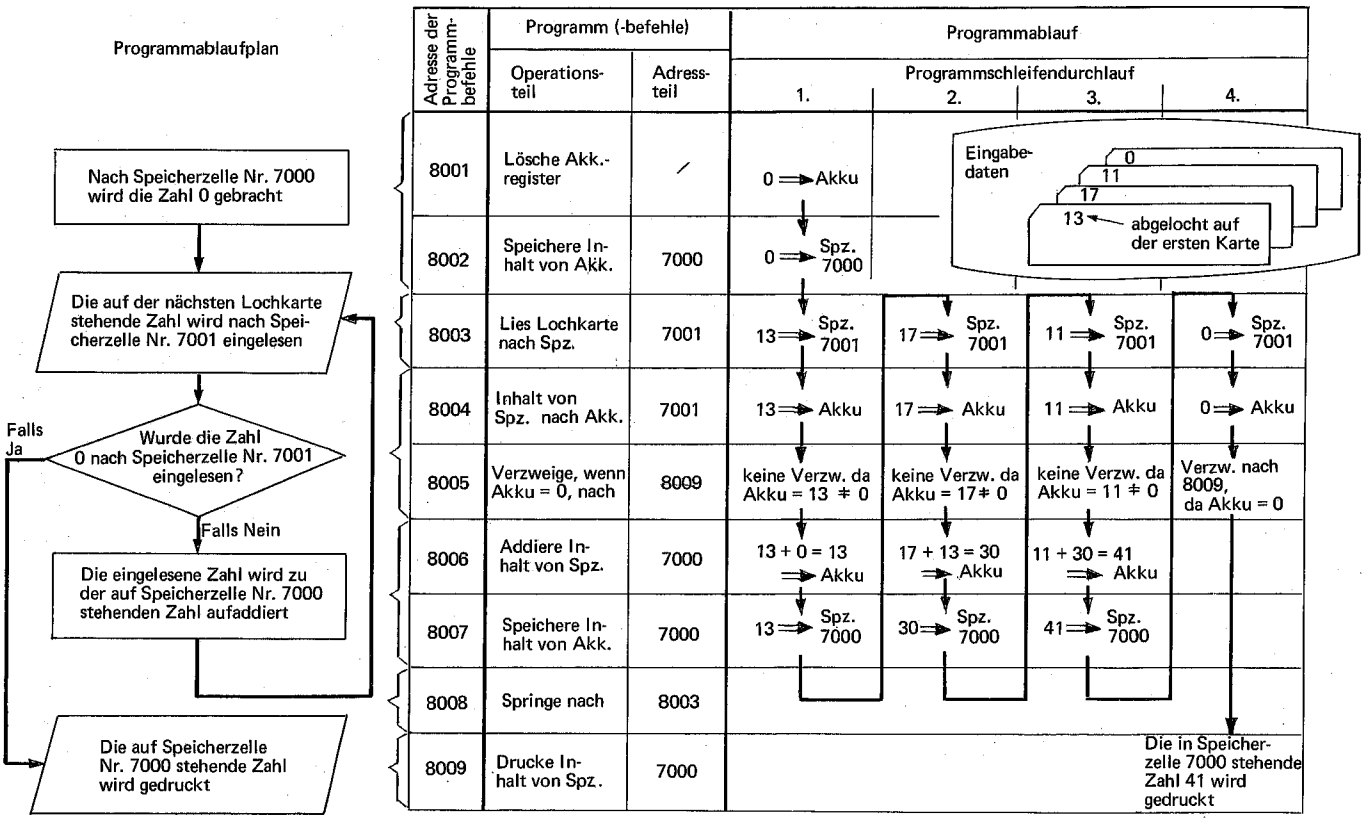


Bild 13/13. Programm für die Summation einer Folge von Zahlen, deren letzte 0 ist.
⇒ zeigt an, daß ein bestimmter Zahlenwert in ein Register bzw. eine Speicherzelle (Spz.) gebracht wird. Im Computer sind die Befehle – Operations- und Adreßteil – binär verschlüsselt.

Sequentielle Befehlsfolge und Verzweigung

Der vom Computer abzuleistende Prozeß wird in einem sog. Programm festgelegt. Es besteht aus Befehlen. Die Befehle müssen in der Reihenfolge ihrer Ausführung in aufeinanderfolgenden Zellen des Arbeitsspeichers abgelegt sein, also z.B. erster Befehl auf Zelle 8001, zweiter auf 8002 usw.. Das Leitwerk merkt sich in einem Befehlsadreßregister, aus welcher Zelle es den nächsten Befehl vom Arbeitsspeicher anzufordern hat. Sobald ein Befehl dem Leitwerk überstellt ist, wird der Inhalt des Befehlsadreßregisters automatisch um 1 erhöht. Dadurch wird erreicht, daß die Befehle sequentiell abgearbeitet werden, der nächste wird aus der jeweils nachfolgenden Speicherzelle geholt. Von dieser sequentiellen Befehlsfolge wird nur abgewichen, wenn ein sog. Sprungbefehl ins Leitwerk gelangt. Sprungbefehle werden vom Leitwerk selbst ausgeführt, indem es den Adreßteil des Sprungbefehls ins Befehlsadreßregister übernimmt. Steht etwa auf Zelle 8008 ein Befehl mit dem Operationsteil „SPRINGE" und dem Adreßteil 8003, so wird der nächste Befehl nicht aus Zelle 8009, sondern aus Zelle 8003 genommen. Durch

einen solchen Rückwärtssprung kann die Wiederholung eines Programmteils bewirkt werden, z.B. die Addition des nächsten Summanden oder die Lohnberechnung für den nächsten Mitarbeiter. Sprünge können von Bedingungen abhängen, z.b. davon, ob im Akkumulatorregister eine Null steht oder nicht. Der in Bild 13/13 auf Speicherzelle 8005 angezeigte Verzweigungsbefehl ist ein solcher bedingter (Vorwärts-)Sprung. Der Programmlauf wird hierbei mit dem auf Speicherzelle 8009 stehenden Druckbefehl fortgesetzt, sofern im Akkumulator eine Null steht, andernfalls folgt auf den Verzweigungsbefehl der Additionsbefehl aus der Speicherzelle 8006. Es gibt in einem solchen Fall also zwei mögliche Programmzweige für den weiteren Ablauf, was auch im Programmablaufplan, in Bild 13/13 deutlich wird. In ihm ist das Programm mittels genormter grafischer Symbole beschrieben. Anhand des Programmablaufplans kann man dann das Programm selbst als Folge von Computerbefehlen schreiben, ablochen und in den Arbeitsspeicher des Computers einlesen, z.B. ab Speicherzelle 8001. Bringt man dann noch die Zahl 8001 ins Befehlsadreßregister – z.B. durch besondere Tasten im Bedienungsfeld des Computers – so kann man den in Bild 13/13 geschilderten Programmablauf starten, sofern die Lochkarten mit den Eingabedaten im Lochkartenleser eingelegt sind, in Bild 13/13 vier Karten mit den Zahlen 13, 17, 11 und 0. Die zuletzt kommende 0 dient als Endesteuerung.

Übung 13/4 **Verständnisübung**

Wie würde sich der in Bild 13/13 dargestellte Programmablauf ändern, wenn

a) die Lochkarte mit der Zahl 11 herausgenommen würde?

b) vor die letzte Lochkarte eine weitere Lochkarte mit dem Wert 19 eingeschoben würde?

c) vor der letzten Lochkarte mit dem Wert 0 insgesamt 100 Lochkarten lägen, auf denen sämtlich dieselbe Zahl 13 abgelocht wäre?

Die Addition als grundlegende Rechenoperation

Wir haben uns im letzten Abschnitt damit beschäftigt, wie in einem Computer ein Programm abläuft. In diesem Abschnitt soll nun ein einzelner Rechenwerksbefehl, nämlich die Addition, realisiert werden, Bild 13/14. Ein Rechenwerk muß zwar u.a. mit sämtlichen vier Grundrechenarten fertig werden. Davon lassen sich aber Subtraktion, Multiplikation und Division auf die Addition zurückführen. Die Addition ist also die Basis der anderen Rechenoperationen, deren Abwicklung überwiegend eine Frage der zeitgerechten Steuerung der dazu notwendigen Additionen ist, wenn man vom „Komplementieren" bei der Subtraktion einmal absieht. Die Addition zweier Dualzahlen selbst aber beruht auf der Addition von je zwei Dualstellen gleichen Stellenwerts, wobei evtl. noch ein „von rechts kommender" Übertrag zu berücksichtigen ist, vgl. Tabelle 13/5. Zur Subtraktion s. Tabelle 13/6.

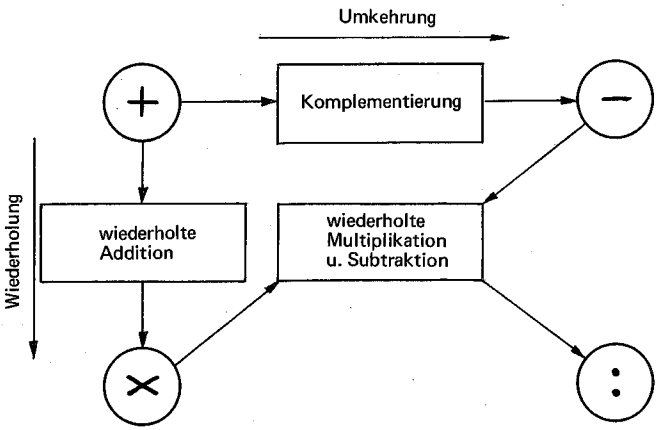


Bild 13/14. Addition, Basis der Grundrechenarten.

Tabelle 13/5. Addition zweier Dualzahlen.
Beispiel: 0LL0LLL0 + 0LL00LLL.

1. Summand		0	L	L	0	L	L	L	0	≙ 110
2. Summand	+	0	L	L	0	0	L	L	L	≙ 103
stellenweise Zwischensumme						L0	LL	L0	0L	
Summe		L	L	0	L	0	L	0	L	≙ 213

Tabelle 13/6. Subtraktion mittels Komplementierung.

Die Subtraktion erfolgt im dualen System in drei Schritten.

1. Schritt: Der Subtrahend – die abzuziehende Zahl – wird bitweise umgekehrt, es wird das sog. Eins-Komplement gebildet.
2. Schritt: Der eins-komplementierte Subtrahend wird zum Minuenden – der Zahl, von der abgezogen werden soll – addiert.
3. Schritt: Auf die letzte Stelle der entstehenden Summe wird eine Eins addiert, die Eins auf der vorvordersten Stelle wird weggelassen.

Minuend:	213 ≙	L L 0 L 0 L 0 L	
Subtrahend:	103 ≙	0 L L 0 0 L L L	1. Schritt
		L L 0 L 0 L 0 L	
2. Schritt		+ L 0 0 L L 0 0 0	
		L 0 L L 0 L L 0 L	
		+ L	3. Schritt
	110 ≙	0 L L 0 L L L 0	

Tabelle 13/7. Addition von zwei Binärziffern.

Operanden A	+	B	=	Summe U	S	logische Verknüpfung
0		0			0	$U = A \wedge B$
0		L			L	
L		0			L	$S = \underbrace{(\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})}_{\text{Antivalenz}}$
L		L		L	0	

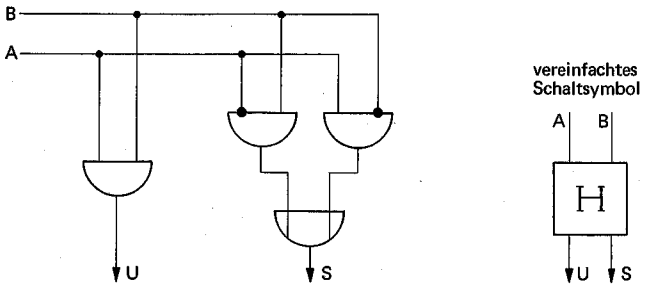


Bild 13/15. Halbaddierer. $U = A \wedge B$.
$S = (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})$.

Übung 13/5 **Verständnisübung**

a) Ergänzen Sie die fehlenden Zwischensummen in Tabelle 13/5 (Addition zweier Dualzahlen). Dabei werden an jeder Stelle die Binärwerte der Summanden und ein evtl. von rechts kommender Zweierübertrag zusammengezählt. Diese Zwischensumme wird als zweistellige Dualzahl dargestellt. Deren Einerstelle ergibt den jeweiligen Stelleninhalt der Summe; ihre Zweierstelle wird als Übertrag in der links benachbarten Stelle berücksichtigt.

b) Führen Sie analog Tabelle 13/6 die Subtraktion 213 minus 110 durch.

Addition zweier Binärziffern – Halbaddierer

Bei der Addition zweier Dualzahlen hat man zunächst die beiden binären Werte der letzten bzw. Einerstellen der Summanden zu addieren, s. Bild 13/15. Dabei – vgl. Tabelle 13/7 – lautet die Summe Null, Eins oder Zwei, je nachdem, ob keine, eine oder beide der Binärziffern L sind. Im letzten Fall reicht eine Dualstelle nicht mehr zur Darstellung des Ergebnisses aus, es bildet sich ein „Zweierübertrag". Es ist im Hinblick auf die binäre Schaltkreistechnik zwingend, zu sagen, daß der Zweierübertrag in den ersten beiden Fällen 0, im letzten aber L ist. Damit läßt sich das Problem der Addition zweier Binärziffern auf die logischen Grundfunktionen zurückführen. Man hat zwei unabhängige Variablen, nämlich die beiden Binärziffern *A* und *B*, und zwei abhängige, nämlich die Einerstelle *S* und die Zweierstelle *U* der Summe. *U* hat, vom dualen Zahlensystem her gesehen, einen höheren Stellenwert als S, das den gleichen hat wie *A* und B. Tabelle 13/7 zeigt, daß *S* genau dann den Wert L annimmt, wenn *A* und *B* verschiedenwertig sind. *S* kann also durch eine Antivalenzschaltung dargestellt werden, während *U* einer einfachen UND-Schaltung entspricht. Algebraische Formeln und Schaltungen sind in Bild 13/15 angegeben. Die Antivalenzschaltung für *S* ist unmittelbar nachvollziehbar: *S* ist dann L, wenn nur eine der beiden Variablen *A* und *B* diesen Wert hat, also wenn $A = 0$ und $B = L$ oder $A = L$ und $B = 0$ ist. Da man mit der aufgezeigten Schaltung „einen von rechts kommenden" Zweierübertrag noch nicht verarbeiten kann, wird sie „Halbaddierer" oder kurz „Halbadder" genannt. Häufig wird für sie ein besonderes, vereinfachtes Schaltsymbol benutzt.

Übung 13/6 **Verständnisübung**

Die beiden Ausgänge U und S eines Halbaddierers führen niemals gleichzeitig den Wert L. Begründen Sie dies.

Addition dreier Binärziffern – Volladdierer

Mittels eines Halbaddierers kann man nur das Additionsgeschehen für die letzten Stellen zweier Dualzahlen bewältigen. Bei den davorliegenden Stellen – vgl. Tabelle 13/5 – kommt außer den beiden binären Stelleninhalten *A* und *B* der zwei Summanden ein weiterer binärer Wert *C* ins Spiel, nämlich der von der rechts benachbarten Stelle herkommende Zweierübertrag. Daher kann die Summe $A + B + C$ die vier Werte Null, Eins, Zwei oder Drei annehmen. Man kommt also auch in diesem Fall für die duale Darstellung der stellenweisen Summe mit zwei binären Stellen aus, die wie bisher mit *U* und *S* bezeichnet seien. Falls mindestens zwei, also zwei oder drei der Variablen *A*, *B*, *C* den Wert L haben, muß auch *U* den Wert L annehmen. Man erhält also für *U* als Funktion von *A*, *B*, *C* die Funktionstabelle 13/8. Aus ihr liest man unmittelbar die dabeistehende Formel für *U* ab. Allerdings kann *U* auch noch einfacher ausgedrückt werden, da ja in den Fällen, wo es L ist, mindestens eine der drei möglichen UND-Verknüpfungen aus je zwei der Variablen *A*, *B*, *C* den Wert L ergeben muß. Die Einerstelle *S* der Summe $A + B + C$ muß den Wert L haben, wenn eine oder drei der Variablen denselben Wert hat. Das ergibt vier mögliche Kombinationen gemäß Tabelle 13/8. Man erhält so unmittelbar die für *S* angegebene Formel. Entsprechend diesen Formeln ergeben sich mögliche Schaltungen für U und S, die in der Regel zu einem einzigen Baustein mit drei Eingängen und zwei Ausgängen zusammengefaßt werden. Man nennt diese zusammengefaßte Schaltung „Dualadder", „Volladdierer" oder kurz „Adder" und verwendet dafür üblicherweise ein besonderes, vereinfachtes Schaltsymbol – vgl. Bild 13/17. Da die an den Eingängen eines Volladdierers auflaufenden Signale alle den gleichen dualen Stellenwert haben, müssen diese Eingänge nicht unterschieden werden. Es kommt nur darauf an, wieviele Einsen anliegen, und nicht, an welchen Eingängen sie zugeführt werden. Dagegen muß man wegen der verschiedenen Wertigkeit sehr wohl zwischen den beiden Ausgängen U und S unterscheiden!

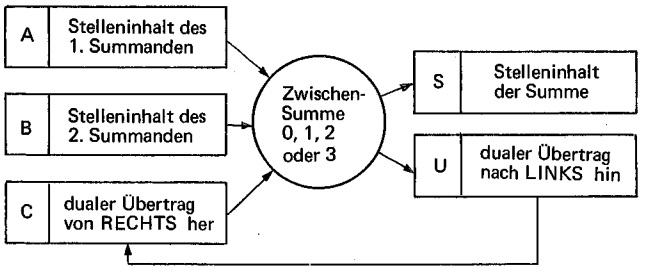


Bild 13/16. Binäre Variable in der Addition einer dualen Stelle.

Tabelle 13/8. Die Additionsfunktionen *U* und *S* für drei Binärziffern.

A + B + C	Zwischensumme	U	S
0 0 0	Null	0	0
0 0 L	Eins (0L)	0	L
0 L 0		0	L
L 0 0		0	L
0 L L	Zwei (L0)	L	0
L 0 L		L	0
L L 0		L	0
L L L	Drei (LL)	L	L

unvereinfacht: $U = (\bar{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (A \wedge B \wedge C)$

vereinfacht : $U = (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \vee (B \wedge C)$

$S = (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C) \vee (\bar{A} \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}) \vee (A \wedge B \wedge C)$

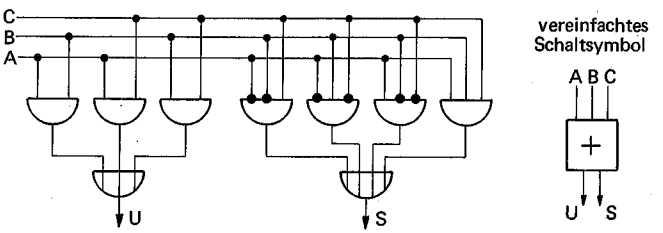


Bild 13/17. Volladdierer (Eingänge vertauschbar; Ausgänge nicht).

Parallelschaltung von Addierern

Bisher wurde nur das Additionsgeschehen an einer dualen Stelle betrachtet und der Volladdierer als eine Schaltung entwickelt, die die Verknüpfungsaufgabe der dabei anstehenden Binärwerte löst. Mit Hilfe einer hinreichenden Anzahl von Addern und drei Registern kann man nun ein paralleles Addierwerk bauen. Für vierstellige Dualzahlen ist das in Bild 13/18 gezeigt. Anstatt eines Halbaddierers kann man in der letzten Stelle auch einen Volladdierer benutzen, von dem ein Eingang auf den Signalwert Null gelegt wird. Da zwei vierstellige Summanden zu einer fünfstelligen Summe führen können, muß man entweder im Summenregister eine fünfte Stelle vorsehen oder aber den Übertragsausgang des vordersten Dualadders als Überlaufanzeige benutzen.

Steht nämlich am Ausgang U_3 ein L an, so ist als Additionsergebnis eine Zahl entstanden, die nicht mehr in das vierstellige Summenregister paßt. In der Regel wird das als Überlaufanzeige verwertet, da man die Stellenzahl nicht von Addition zu Addition um eins anheben kann.

In dem hier aufgezeigten Paralleladdierwerk wird mit jeder Taktung der Flip-Flops des Summenregisters die Summe der gerade in A und B stehenden Dualzahlen übernommen. Statt dessen könnte man auch das Summenregister ständig takten und in sämtliche Eingangsleitungen seiner Flip-Flops je ein UND-Glied mit zwei Eingängen einbauen. Je ein Eingang aller dieser UND-Glieder würde dann mit dem gleichen Signal ADDIERE beaufschlagt. Nur am Ende eines Taktes, wo dieses Signal auf L steht, würde dann die Summe tatsächlich nach dem S-Register übernommen.

Das Summenregister S in Bild 13/18 entspricht dem früher schon genannten Akkumulatorregister. Allerdings wurde dort davon ausgegangen, daß einer der beiden Summanden vor der Addition im Akkumulator steht. Nun werden die beiden Summanden tatsächlich nur bis zu dem Augenblick benötigt, wo die Summe per Taktung ins S-Register übernommen wird. Welche Zahl unmittelbar zuvor im S-Register stand, spielt dabei gar keine Rolle; sie wird bei der Taktung und Summenübernahme ohnehin „zerstört". Daher kann man tatsächlich gemäß Bild 13/19 mit einem einzigen Register für A und S auskommen.

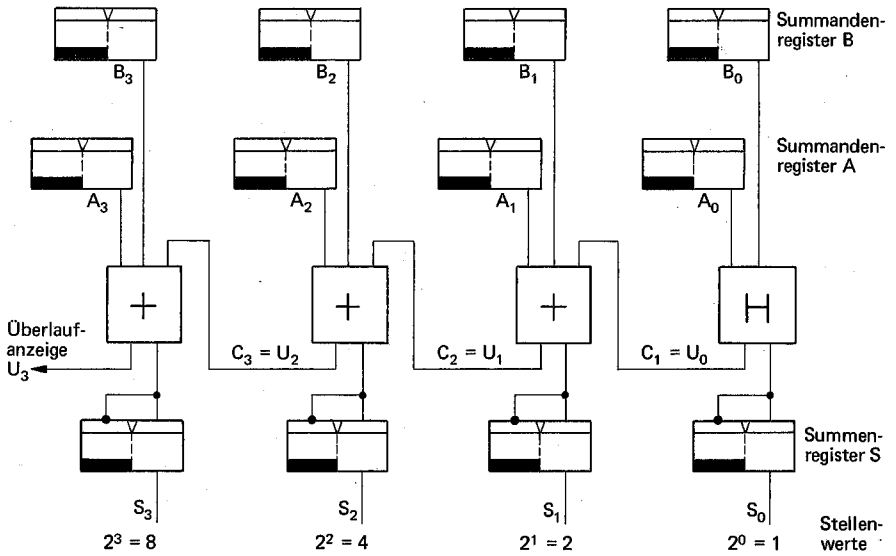


Bild 13/18. Vierstelliges Paralleladdierwerk.

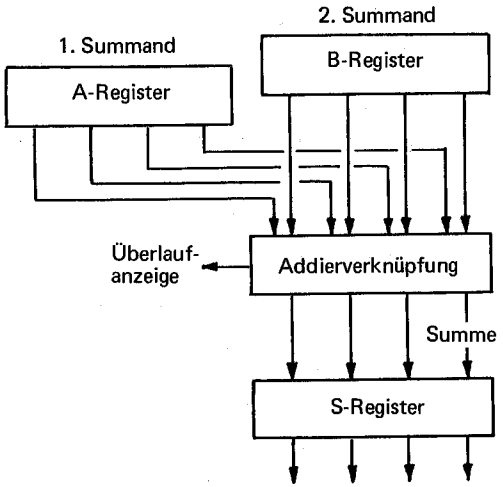


Bild 13/19a. Paralleladdierwerk mit drei Registern.

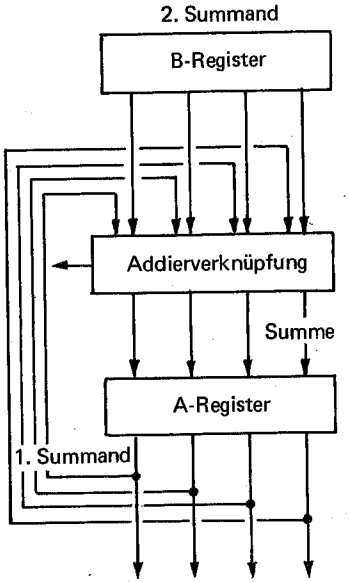


Bild 13/19b. Paralleladdierwerk mit zwei Registern.

Übung 13/7 **Verständnisübung**

Welche Werte haben *A*, *B*, *C*, *U* und *S* in dem Zahlenbeispiel aus Tabelle 13/5 für

die Zweierstelle (2. Stelle von rechts her),
die Viererstelle (3. Stelle von rechts her),
die Achterstelle (4. Stelle von rechts her)?

Übung 13/8 **Verständnisübung**

Füllen Sie die Tabelle 13/9 anhand von Bild 13/18 aus. Die Variablen S_0 bis S_3 stellen die rechten bzw. Einerausgänge der Adder dar.

Tabelle 13/9. Paralleladdition OLLL + OLLO.

Stelle 2^3	Stelle 2^2	Stelle 2^1	Stelle 2^0
A_3 = 0	A_2 = L	A_1 = L	A_0 = L
B_3 = 0	B_2 = L	B_1 = L	B_0 = 0
C_3 =	C_2 =	C_1 =	
U_3 =	U_2 =	U_1 =	U_0 =
S'_3 =	S'_2 =	S'_1 =	S'_0 =

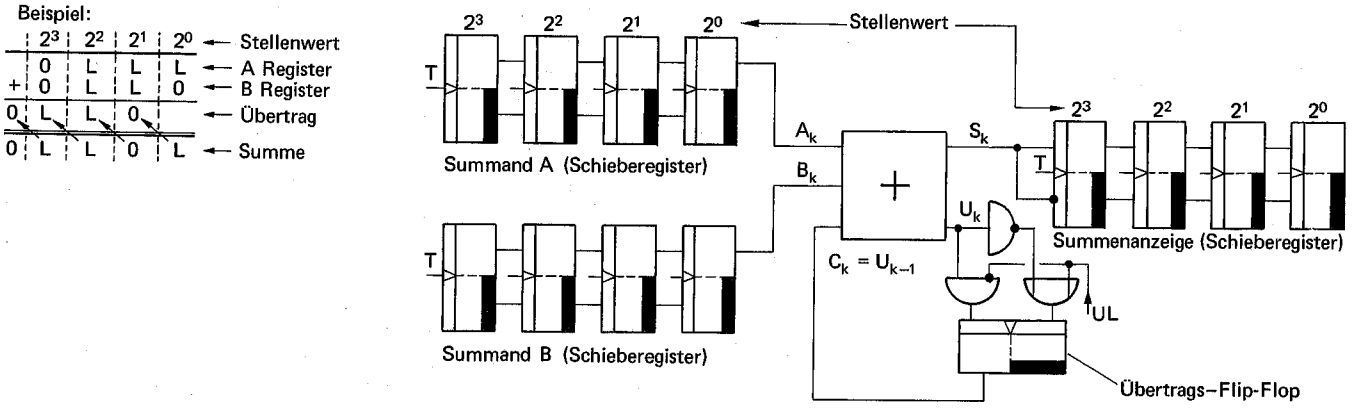


Bild 13/20. Vierstelliges Serienaddierwerk.
Die Flip-Flops der Schieberegister liegen mit ihrem T-Eingang alle am gemeinsamen Taktsignal.

Serielle Addition

Vier duale Stellen reichen nicht aus, um eine für praktische Probleme ausreichende Rechengenauigkeit zu erzielen. Deshalb wurden früher in diesem Kapitel 32 bit als Beispiel einer Registerlänge angegeben. Ein Paralleladdierwerk muß in diesem Fall 32 Adder enthalten. Diesen konstruktiven Aufwand kann man durch Übergang zu einer seriellen Arbeitsweise erheblich vermindern, wenn auch auf Kosten der Rechengeschwindigkeit.

Ein serielles Rechenwerk mit vier Stellen ist in Bild 13/20 gezeigt. Es enthält neben drei Registern und einem Übertrags-Flip-Flop nur einen einzigen Volladdierer, in dem zeitlich nacheinander in einem bestimmten Taktraster die einzelnen Dualstellen addiert werden. Am Beispiel der Addition von OLLL (oberes bzw. A-Register) und OLLO (unteres bzw. B-Register) wollen wir die Wirkungsweise einmal nachvollziehen. Dabei sei angenommen, daß das Übertrags-Flip-Flop mittels des Übertragslöschsignals – eine Taktzeit lang sei UL = L – vorweg auf Null gesetzt wurde. Auf dem Eingang C des Adders liegt also zunächst eine Null. Den beiden anderen Eingängen sind die letzten Flip-Flops des A- bzw. B-Registers aufgeschaltet. Dort liegen folglich die Stelleninhalte L und O der Einerstellen der beiden Summanden an. Da nur auf einem der drei Addereingänge ein L liegt, erhält man am S-Ausgang ein L und am U-Ausgang eine O. Werden nun sämtliche Flip-Flops der Schaltung gleichzeitig getaktet, so wird das L vom S-Ausgang des Adders in das vorderste Flip-Flop des S-Registers übernommen, das Übertrags-Flip-Flop bleibt wegen U = O auf Null stehen, in den Registern A und B wandern alle Stelleninhalte eins nach rechts.

Während der nächsten Taktzeit liegen also an den beiden oberen Eingängen des Adders die Stelleninhalte L und L der Zweierstelle der ursprünglichen Summanden an, jetzt in den hintersten Flip-Flops des A- und B-Registers stehend. Dazu kommt auf den dritten Eingang C = O. Man erhält am Ausgang die Werte U = L und S = O. Mit dem nächsten Takt wird also das Übertrags-Flip-Flop auf L und das vorderste Flip-Flop des S-Registers auf O gesetzt, während das dort soeben noch befindliche L in das rechts benachbarte Flip-Flop weiterwandert. Auch in den Flip-Flops A und B wandern sämtliche Stelleninhalte mit dem neuen Takt um eins nach rechts.

Die beiden letzten Stellen 0 und L der künftigen Summe stehen nunmehr in den beiden linken Flip-Flops des S-Registers. In dessen zwei rechten Stellen befinden sich noch Binärwerte, die vor der Addition die linke Registerhälfte belegten und für den gesamten Additionsablauf vollständig belanglos sind. Im A- und B-Register stehen in den rechten beiden Flip-Flops noch die zwei vorderen Stellen

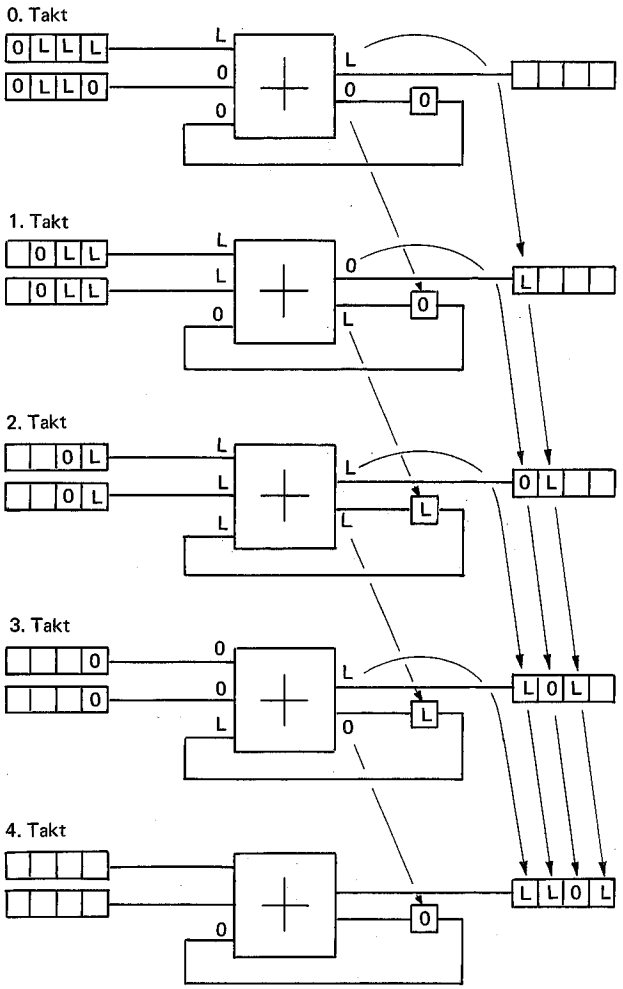


Bild 13/21. Ablauf einer seriellen Addition.

der ursprünglichen Summanden, deren hintere Stellen verschwunden sind. Natürlich steht jedes der nicht benötigten Flip-Flops auf 0 oder L. Da dies für den Additionsablauf aber keine Rolle spielt, wurde in Bild 13/21 nichts eingetragen. Gemäß dem jetzigen Zustand liegen auf den Addereingängen drei Einsen, so daß beim nächsten Takt das Übertrags-Flip-Flop auf L stehen bleibt und das vorderste Flip-Flop im S-Register wieder auf L gesetzt wird. Dabei wird auch in sämtlichen Registern um eine Stelle nach rechts geschoben.

Während der nächsten Taktzeit steht der Summenteil LOL linksbündig im S-Register, während dessen letztes Flip-Flop noch frei ist. Dagegen ist im A- und B-Register jeweils nur noch das letzte Flip-Flop durch die ursprünglich vorderste Summandenstelle belegt. Am Adder steht auf einem einzigen Eingang ein L. Also kommt mit dem nächsten Takt eine 0 nach dem Übertrags-Flip-Flop und ein L nach dem S-Register. Dieses ist dann voll von der Summe LLOL belegt, A- und B-Register enthalten keine Summandenteile mehr. Der geschilderte Ablauf ist in Bild 13/22 noch einmal als Signal-Zeit-Plan dargestellt.

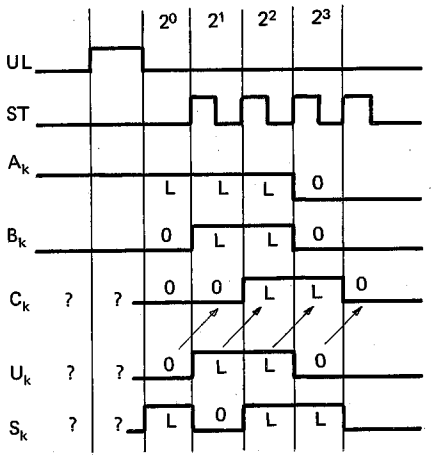


Bild 13/22. Signal-Zeit-Plan zur seriellen Addition.
UL Übertragungslöschung
ST Schiebetakt

Aus dem geschilderten Ablauf werden drei wesentliche Merkmale der seriellen Addition deutlich:

- Die einzelnen Dualstellen werden – niederste Stelle vorweg – in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen addiert.
- Der sich in einem Zeitintervall bzw. an einer Dualstelle bildende Zweierübertrag wird in das nächste Zeitintervall bzw. zur links benachbarten Stelle weitergereicht.
- Die Summe bildet sich stellenweise – niederste Stelle vorweg –, gleichzeitig verschwinden stellenweise die Summanden.

Das Übertrags-Flip-Flop dient also lediglich dem zeitlichen Transfer des jeweiligen Übertragswerts ins nächste Taktintervall. Zu Beginn bzw. zur Addition der hintersten Summandenstelle muß es vorweg auf Null gesetzt werden. Statt eines Flip-Flops kann hier auch ein Verzögerungsglied irgendwelcher Art benutzt werden. Es muß nur gewährleistet sein, daß die Verzögerung genau eine Taktzeit andauert, der Übertragswert also nicht noch im gleichen Zeitintervall wirksam wird.

Ebenso wie im parallelen Addierwerk kann auch im seriellen eines der drei Register eingespart werden, vgl. Bild 13/23. Es wurde bei der Ablaufbetrachtung bereits festgestellt, daß im S-Register jeweils nur ein Teil von der sich bildenden Summe belegt ist, gleichzeitig im A- und B-Register mit der Aufarbeitung der Summanden Teile frei werden. Was hier frei wird, umfaßt zu jedem Zeitpunkt genau so viele Flip-Flops wie die Summe im S-Register benötigt.

Man kann also wieder wie beim parallelen Addierwerk A- und S-Register in eines zusammenfassen. In ihm steht bei serieller Arbeitsweise zu Beginn der Addition einer der beiden Summanden, während der Addition der bereits fertige Summenteil und der noch nicht verarbeitete Rest dieses Summanden, am Ende die Summe.

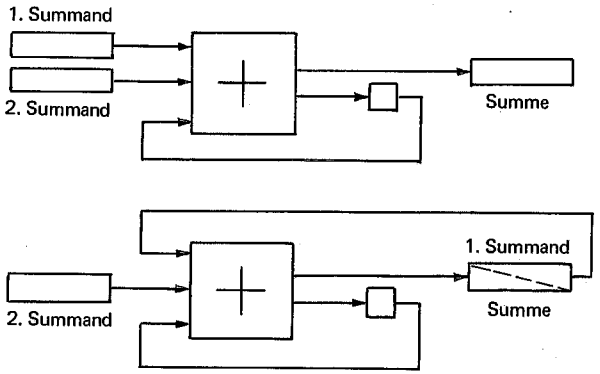


Bild 13/23. Serielle Addierwerke mit drei und zwei Registern.

Übung 13/9 **Verständnisübung**

Wieviel Stellen sind bei einer seriellen Addition in den Summandenregistern frei geworden, wenn zwei (drei) Summenstellen im Ergebnisregister stehen?

Übung 13/10 **Verständnisübung**

Der Additionsablauf 0L0LL + 00LLL soll in einem seriellen Addierwerk mit zwei Registern je fünf Stellen nachvollzogen werden. Benutzen Sie dazu Bild 13/24.

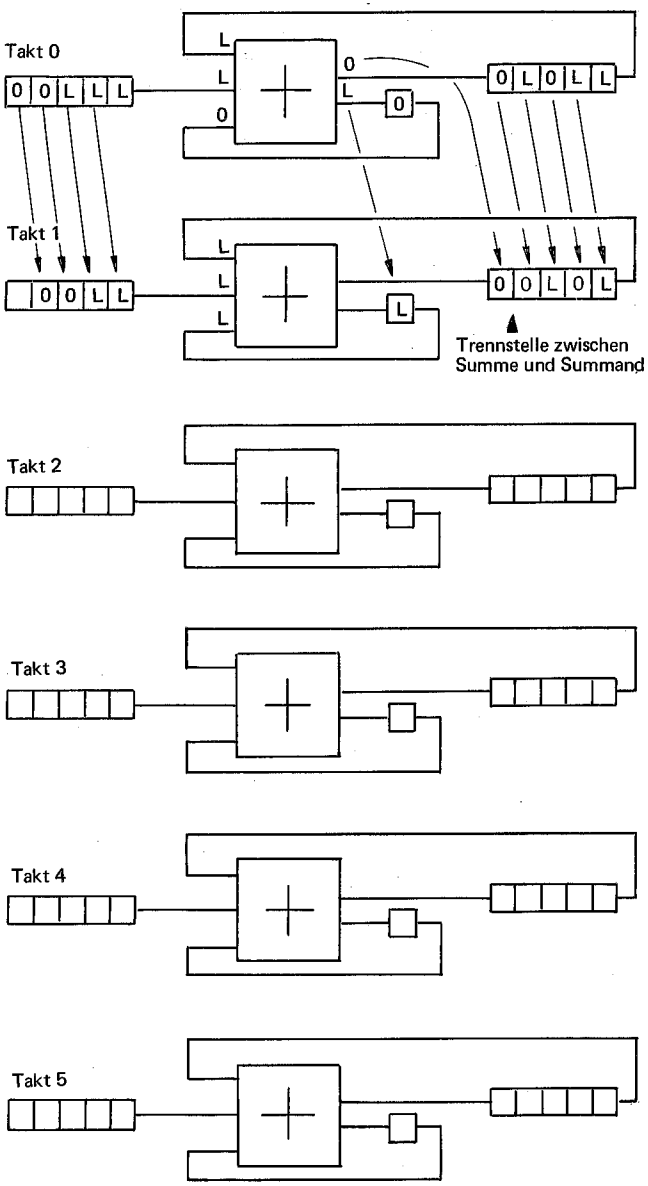


Bild 13/24. Serielle Addition mit zwei Registern.

Rechengeschwindigkeit

Die serielle Arbeitsweise kommt zwar mit geringerem konstruktivem Aufwand aus, ist aber wesentlich langsamer als die parallele. Eine Addition zweier Dualzahlen mit 32 Stellen würde 32 Takte beanspruchen. Löst man das gleiche Problem parallel, so ist man zwar wesentlich schneller, kommt aber i.a. nicht mit einer Taktzeit aus. Um das zu verdeutlichen, betrachte man einmal die Addition einer Dualzahl, die aus insgesamt 30 Einsen besteht, mit einer solchen, die nur auf der letzten Stelle eine Eins hat. Dann entsteht in dem Halbadder für die letzte Stelle – vgl. Bild 13/18 – ein Übertrag, der dann durch alle folgenden Stellen „hindurchläuft". Das Signal L auf dem Übertragsausgang des Halbadders erscheint aber nicht zum gleichen Zeitpunkt, zu dem die Signale an den Eingängen angelegt werden. Infolge der endlichen Schaltzeit der Halbadderschaltung kommt es etwas später. Das Spiel wiederholt sich bei dem Dualadder der zweiten Stelle, wo nun die L am Übertragsausgang noch etwas später erscheint usw. Die Signallaufzeiten der weiteren Dualadder bis zur 30. Stelle addieren sich, bevor das L für die 31. Stelle am Stellenwertausgang des zugehörigen Dualadders erscheint. Diese Laufzeitsumme ist in der Regel wesentlich höher als die Taktzeit eines Computers. Obwohl hier natürlich der „schlimmste" Fall geschildert wurde, muß man den Zeitablauf doch so planen, daß auch in diesem Fall das richtige Ergebnis entsteht. Ein vernünftiger Kompromiß zwischen Aufwand und Rechenzeit wird erreicht, wenn man eine gemischte, parallel-serielle Arbeitsweise benutzt.

Übung 13/11 **Verständnisübung**

Geben Sie die Vor- und Nachteile der parallelen und der seriellen Arbeitsweise an.

Steuerung des zeitlichen Ablaufs

Wir haben bisher bestimmte Teile eines Rechenwerks, nämlich

- Rechenwerksregister,
- Verknüpfungswerk und
- Datenwege

kennengelernt. Bei der parallelen Addition ist kurz angeklungen, daß in den Datenwegen evtl. mittels UND-Verknüpfungen Sperren eingebaut sind. In der Tat verzweigen die Datenwege in einem Rechenwerk und werden über ODER-Glieder wieder zusammengeführt. So müssen die Eingänge zum Akkumulatorregister nicht nur vom Addierwerk, sondern auch vom Arbeitsspeicher her erreichbar sein. Daß wir bisher nur die Addition betrachtet haben, hat also die Darstellung sehr vereinfacht und nur das Grundsätzliche deutlich werden lassen. Nun fehlt aber in unserer Zusammenstellung noch ein wesentlicher Bestandteil, der überall unentbehrlich ist, wo Abläufe in zeitlich aufeinanderfolgenden Einzelschritten automatisch abgewickelt werden. Es fehlt noch eine Ablaufsteuerung, im speziellen Fall des Rechenwerks Operationensteuerung genannt. Sie muß, auf Anstoß von außen hin, die einzelnen Datenwege richtig durchschalten, den Datenfluß zwischen den einzelnen Registern und dem Verknüpfungswerk veranlassen und evtl. bestimmte Voreinstellungen wie etwa beim Übertrags-Flip-Flop vornehmen. Als Beispiel für eine Ablaufsteuerung soll die serielle Addition betrachtet werden. Gegenüber den in Computern vorhandenen Steuerungen stellt allerdings dies eine außerordentliche Vereinfachung dar, s.a. Bild 13/25 und 13/26.

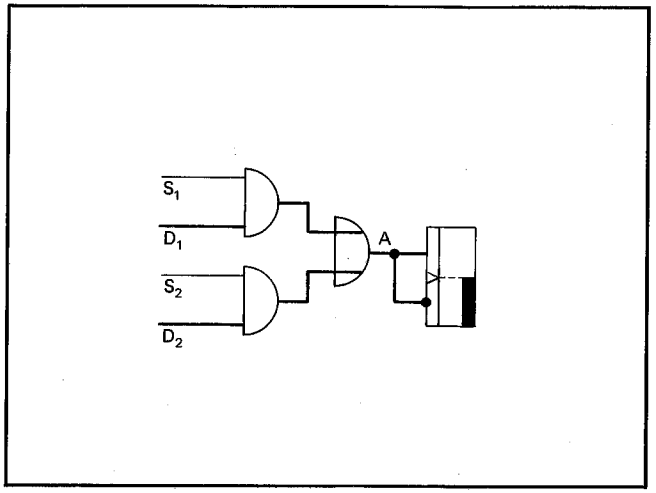


Bild 13/25. Aufschaltung mehrerer Datenwege auf das vorderste Flip-Flop eines Schieberegisters.
Falls S_1 = L und S_2 = 0 ist, wird $A = (S_1 \wedge D_1) \vee (S_2 \wedge D_2) = D_1 \vee 0 = D_1$. Es ist also $A = D_1$ bzw. der erste Datenweg ist durchgeschaltet.
→Datenwege → Steuersignale

In der seriellen Addition in einem Rechenwerk gemäß Bild 13/20 benötigen wir, wenn die beiden Summanden in den Registern bereits zur Verfügung stehen, zunächst das Übertragslöschsignal UL. Es wirkt auf einen vorbereitenden Eingang des Übertrags-Flip-Flops und kommt am Ende der Taktzeit, wo es ansteht, zur Wirkung. In dem darauffolgenden Taktintervall kann die letzte Stelle im Adder verarbeitet werden. Am Ende dieses zweiten Intervalls wird erstmals in den Registern geschoben. Wegen der vier Stellen benötigen wir insgesamt vier Schiebetakte. Die Ablaufsteuerung muß also außer dem Signal UL diese vier Taktimpulse zur Verfügung stellen – vgl. auch den Signal-Zeit-Plan in Bild 13/22.

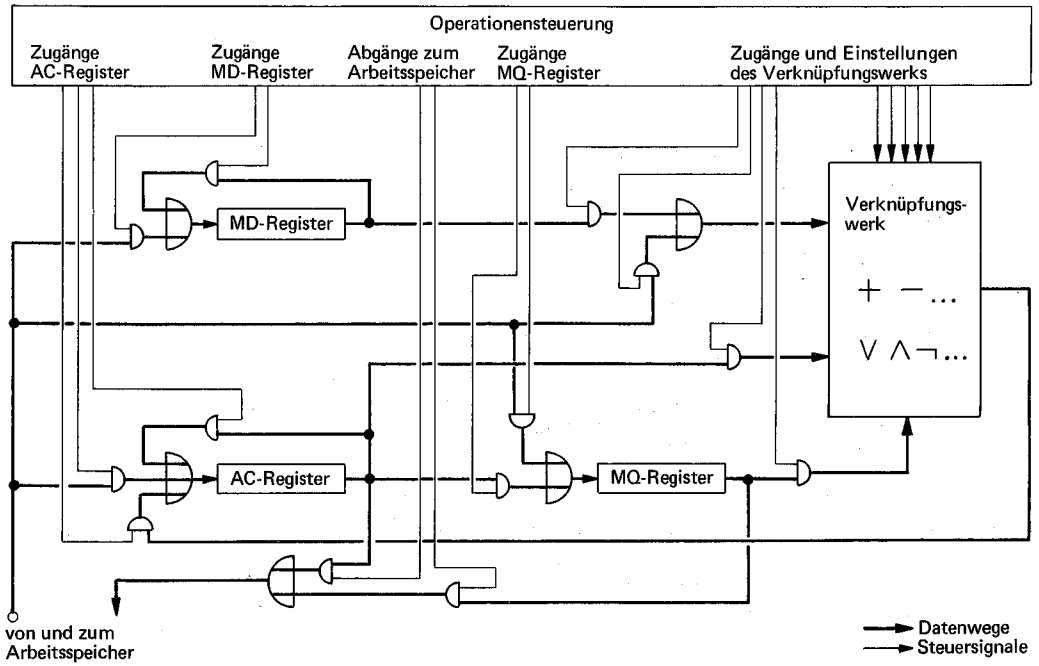


Bild 13/26. Schaltung der Datenwege in einem Rechenwerk.

Die Datenwege verzweigen über einfache Lötpunkte. Sie werden vor den Eingängen der Register und des Verknüpfungswerks mittels UND-ODER-Gliedern zusammengeführt. Steuersignale entscheiden, welcher Datenweg jeweils durchgeschaltet wird. Bei einer Addition z. B. wird der Weg vom Arbeitsspeicher unmittelbar auf den oberen Eingang des Verknüpfungswerks geschaltet, gleichzeitig der Ausgang des AC-Registers auf den unteren. Bei einer Multiplikation gelangt der 2. Operand vom Speicher zuerst in das MD-Register. Dessen Ausgang wird dann zu mehreren Additionen auf das Verknüpfungswerk geschaltet. Der Multiplikand wird gleichzeitig mit dem Einschieben ins Verknüpfungswerk im MD-Register im Kreis geschoben, da er ja mehrfach gebraucht wird.

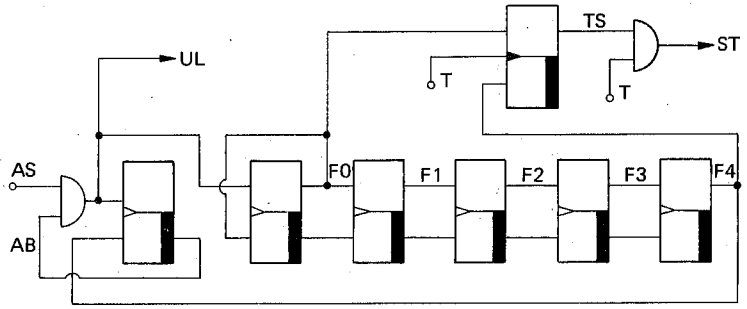


Bild 13/27. Ablaufsteuerung einer seriellen Addition.

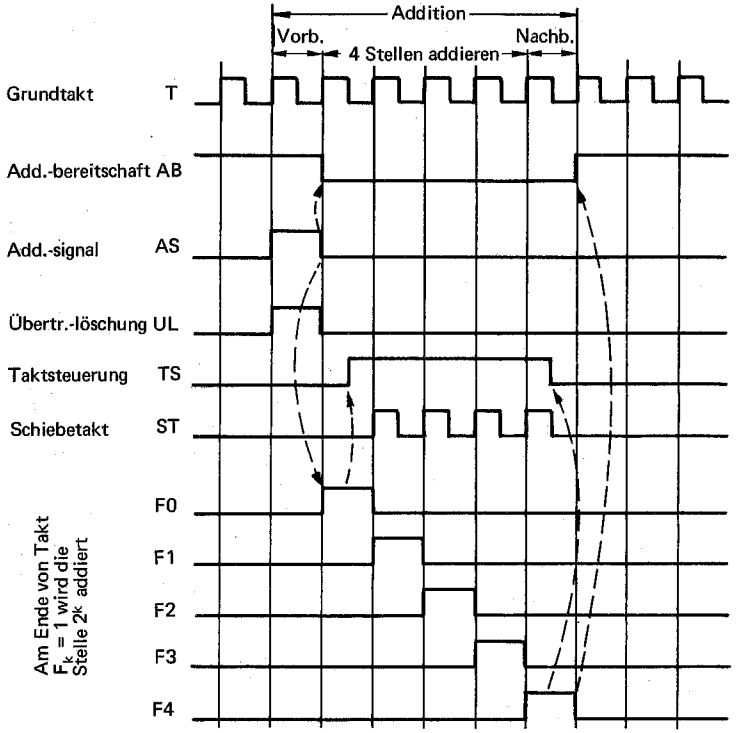


Bild 13/28. Signal-Zeit-Plan zur Additionssteuerung.

Die Schaltung in Bild 13/27 leistet das Gewünschte. In ihrem Ruhezustand stehen alle Flip-Flops auf Null, an dem linken UND-Glied liegt das Signal *AB* = L („additionsbereit") an. Wird vom Leitwerk das Additionssignal AS auf L gesetzt, so wird das Übertragslöschsignal *UL* = L abgegeben und am Ende dieser Taktzeit gehen die beiden linken Flip-Flops auf L. Wegen *FO* = L wird nun eine halbe Taktzeit später mit fallender Flanke des Urtaktes T das TS-Flip-Flop auf L gesetzt. Infolgedessen wird am Ende dieses Taktintervalls der Urtakt T als Schiebetakt ST über das rechte obere UND-Glied durchgeschaltet. Gleichzeitig wird FO zurückgesetzt auf O, während das L von FO für das nächste Taktintervall nach F1 weiterwandert. In drei weiteren Takten erreicht das L das Flip-Flop F4. Bis dahin

sind insgesamt vier Schiebetakte ST abgegeben. In der Mitte der Taktzeit mit *F4* = L setzt die fallende T-Flanke das Flip-Flop TS zurück auf Null. Von da an kann kein weiterer Schiebetakt erfolgen. In der Tat ist ja bereits zum Ende von *F3* = L die vierte Summandenstelle in das Ergebnisregister eingeschoben, die eigentliche Addition also erledigt. Der Takt *F4* = L wird nur „zur Beruhigung" der Ablaufsteuerung benötigt. An seinem Ende ist nämlich nicht nur der Schiebetakt gesperrt, auch das Flip-Flop ganz links wird auf Null zurückgesetzt. Bis zu diesem Zeitpunkt war der Eingang für ein weiteres Additionssignal AS gesperrt, die Steuerung gegen einen evtl. weiteren Additionsauftrag also rückweisend. Den Signal-Zeit-Plan zur Additionssteuerung zeigt Bild 13/28.

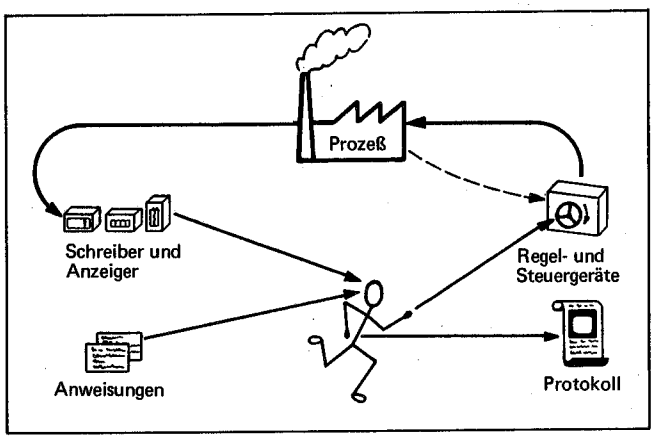
Ablaufsteuerungen, wie soeben beispielhaft für ein serielles Addierwerk betrachtet, sind in den Teilwerken der Zentraleinheit und insbesondere der Peripherie eines Computers vielfältig vorhanden. So hat etwa die Druckersteuerung nach der Übernahme der Zeichen für eine Druckzeile in ein Pufferregister auch die mechanischen Abläufe des Druckvorgangs zu veranlassen. Meist müssen die Steuerungen verschiedenartige Anstöße richtig interpretieren, z.B. ADDIERE, SUBTRAHIERE, MULTIPLIZIERE und DIVIDIERE.

Bild 13/29. Prozeßsteuerung ohne Computer (AEG-Telefunken).

Prozeßrechner

Überlegungen zur Verfügbarkeit

Zu Beginn der Computerentwicklung sah man als Aufgabe vor allem die technisch-wissenschaftliche Berechnung. Man wollte komplizierte Systeme der Baustatik, ballistische Kurven oder spezielle Funktionen der höheren Mathematik berechnen. Durch die Speicherung des Programms und die darauf fußende Entwicklung leicht erlernbarer Programmiersprachen hörte der Umgang mit Computern auf, eine schwer zugängliche Geheimwissenschaft zu sein. Hinzu kam die Entwicklung preisgünstiger Hilfsspeicher und schneller Ein-Ausgabegeräte für große Datenmengen. Auf dieser Basis konnte man den kommerziellen Einsatzbereich erschließen. Dabei wurde erstmals die „Verfügbarkeit" ein interessanter Gesichtspunkt. Es geht hier darum, wie oft und wie lange jeweils die Anlage wegen Störungen den Dienst verweigert. So müssen etwa Löhne innerhalb einer Zeit von einigen Tagen nach Vorlage der Eingabedaten angewiesen sein. Bei Abwicklung über die Datenverarbeitung ist also sicherzustellen, daß der Termin nicht infolge einer länger anhaltenden Störung überschritten wird. Die hohe Betriebssicherheit von Halbleiterbauelementen, die Entwicklung von Testprogrammen zur automatischen Lokalisierung von Störungen und das Verfahren der vorbeugenden Wartung haben dieses Problem lösen helfen. Als letzte Notmaßnahme verblieb, zu einem anderen Rechenzentrum mit dem gleichen Computertyp auszuweichen. So ging die Entwicklung dahin, daß heute mehr als drei Viertel aller Computer im kommerziellen Bereich eingesetzt sind.



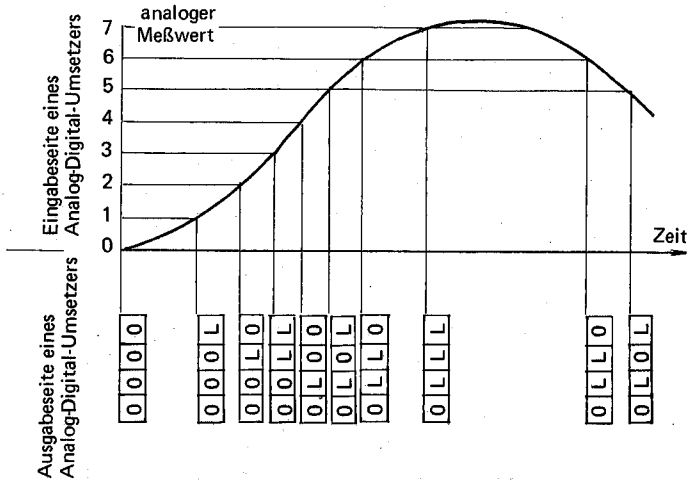


Bild 13/30. Analog-Digital-Umsetzung.

Nachdem man mit transistorisierten Computern erstmals eine gute Betriebssicherheit erreicht hatte, begann man etwa ab 1962 sich dem Bereich der Prozeßsteuerung, Bild 13/29, zuzuwenden. Hier muß der Hersteller eines Computers allerdings extreme Verfügbarkeiten – 99,9 % und höher – garantieren. Dies leuchtet unmittelbar ein, wenn man an die Steuerung einer Walzenstraße oder eines Kraftwerks denkt. Stehen sie einige Stunden still, weil der steuernde Prozeßrechner ausfällt, so ergeben sich empfindliche Produktionseinbußen bzw. Konventionalstrafen. Die möglichen Folgen eines Computerausfalls bei Kernreaktoren oder in der Weltraumfahrt kann man sich leicht ausmalen. Daher setzt man in extremen Fällen auch Doppel- oder Dreifachsysteme von Computern ein, damit die Steuerung bei Ausfall eines Geräts immer noch funktionsfähig bleibt.

Prozeßperipherie

Der Prozeßrechner ist unmittelbar an den Prozeß angekoppelt. Seine Eingabedaten werden nur zum geringeren Teil von Lochbelegen abgetastet, überwiegend kommen sie direkt aus dem Prozeß. Dort werden Meßwerte entweder digital erfaßt oder in Spannungswerte umgesetzt, die der gemessenen Größe proportional sind. Diese Analogsignale müssen dann ihrerseits digitalisiert werden, bevor sie vom Rechner verarbeitet werden können, vgl. Bild 13/30. Auch auf der Ausgabeseite werden prozeßgerechte Signale benötigt, wenn der Computer unmittelbar in den Prozeß eingreifen soll. Zur Lösung dieser Aufgaben hat man eine besondere Prozeßperipherie entwickelt – vgl. Tabelle 13/10.

Die Eingabe einer Date aus dem Prozeß kann in der üblichen Weise vom Programm her veranlaßt werden. Neben dieser programmgesteuerten Eingabe gibt es aber auch die fremdgesteuerte, bei der vom Prozeß her ohne Mitwirkung des Leitwerks unmittelbar der Inhalt bestimmter Arbeitsspeicherzellen geändert wird. Durch diese Form der Eingabe kann eine Programmunterbrechung bewirkt werden. Dies ist auch durch Uhrimpulse möglich.

Tabelle 13/10. Prozeßperipherie.

Eingabe	digitale Eingabekanäle
	Analog-Digital-Umsetzer
Ausgabe	digitale Ausgabekanäle
	Digital-Analog-Umsetzer

Einsatzarten des Prozeßrechners

Je nach dem Grad der unmittelbaren Ankopplung des Computers an den Prozeß unterscheidet man:

– ungekoppelte Prozeßrechnung (off-line), Bild 13/31,
– offen gekoppelte Prozeßrechnung (on-line open loop), Bild 13/32,
– geschlossen gekoppelte Prozeßrechnung (on-line closed loop), Bild 13/33.

In der ersten Stufe ist der Rechner nicht unmittelbar in den Prozeß eingebunden, es handelt sich noch gar nicht um eine Prozeßrechnung im engeren Sinne. Lediglich über die üblichen Eingabegeräte kommen Daten, die aus dem Prozeß stammen. Der Rechner wertet sie aus, er erstellt die Prozeßprotokolle und erledigt die Abrechnungen.

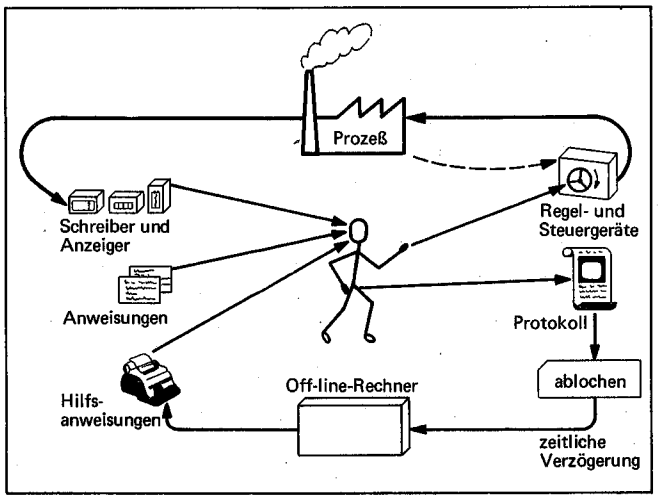


Bild 13/31. Ungekoppelte Prozeßrechnung (AEG-Telefunken).

Da das schneller, exakter und umfassender als von Hand möglich ist, kann eine verbesserte Planung des Prozeßablaufs erreicht werden. In einer Weiterentwicklung dieser Einsatzart kommen bereits Anweisungen für das Bedienungspersonal unmittelbar vom Rechner. Dieses Verfahren wird vor allem in der Fertigungssteuerung genutzt. Über Fernschreiber im Meisterbüro und Leuchtanzeigen an den Werkzeugmaschinen werden Anweisungen ausgegeben, über Tastaturen Vollzugsmeldungen entgegengenommen.

In der offenen Prozeßkopplung ist der Computer eingabeseitig unmittelbar an den Prozeß angeschlossen, von wo der überwiegende Teil seiner Eingabedaten kommt. Er verarbeitet sie zu Protokollen, Kenngrößen und Führungsgrößen (Sollwerte), die über Druckwerke und Anzeigen dem Bedienungspersonal übermittelt werden. An dieser kritischen Stelle, wo steuernd in den Prozeß eingegriffen wird, ist der Mensch noch in den Informationsring eingeschlossen. Trotzdem läßt sich die Prozeßbedienung einfacher und sicherer gestalten. Der Bediener hat wesentlich weniger Meßgeräte unmittelbar und gleichzeitig zu beobachten, weil dies der Computer erledigt. Nur wenn einer der vielen Meßwerte kritisch wird, ein Ausfall oder eine Störung vorkommt oder aus sonstigen Gründen eine Bedienung erforderlich ist, wird vom Computer eine Anweisung an das Bedienungspersonal gegeben. Es ist kaum möglich, daß etwas übersehen oder zu spät bemerkt wird.

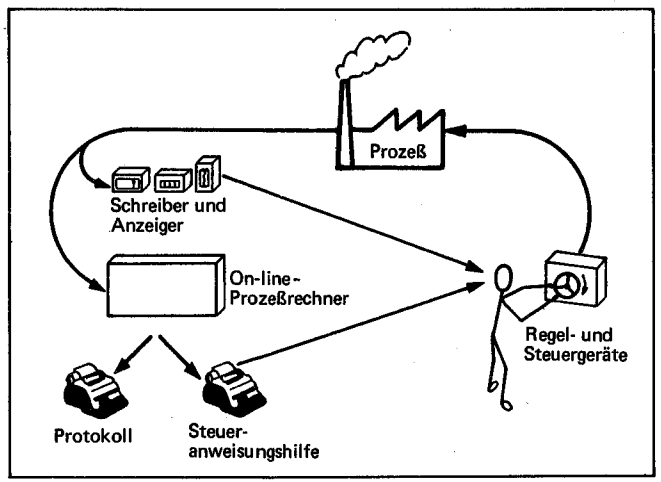


Bild 13/32. Offen gekoppelte Prozeßrechnung.

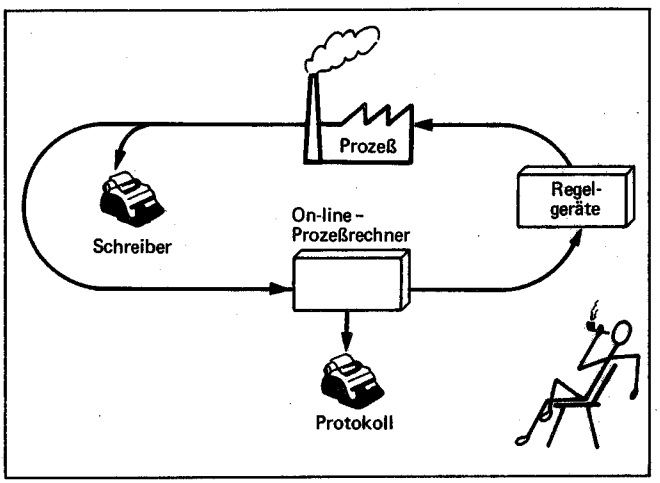


Bild 13/33. Geschlossen gekoppelte Prozeßrechnung.

Bei der geschlossenen Prozeßkopplung aber wird der Mensch aus dem Informationskreislauf ausgegliedert. Die Bedienungsanweisungen ergehen auch ausgabeseitig unmittelbar als prozeßgerechte Steuersignale an die Stellglieder. Der Mensch ist nur noch als Programmierer tätig. Voraussetzung ist allerdings, daß man den Prozeß so genau kennt, daß man alle möglichen Fälle vorhersieht. Wie selten das zutrifft, mußte man bei den ersten Versuchen dieser Art mit einiger Ernüchterung feststellen. Der steuernde Mensch reagiert im unvorhergesehenen Fall „vernünftig", der Computer tut nur, was vorprogrammiert ist. In der Erarbeitung hinreichend wirklichkeitsnaher Prozeßmodelle für die Programmierung schreitet derzeit die Prozeßsteuerung voran.

Echtzeitbetrieb und Programmunterbrechung

Außer der speziellen Prozeßperipherie und einer extrem gezüchteten Betriebssicherheit gibt es für den Prozeßrechner weitere Besonderheiten: Er steht im Echtzeitbetrieb, seine Aktivitäten sind den besonderen Zeitbedingungen des Prozesses unterworfen. Zum einen muß der Prozeßrechner hinreichend schnell auf das Prozeßgeschehen reagieren, d.h. wenn z.B. bei einer Walzenstraße der Materialfluß an einer Stelle stockt, so müssen alle davorliegenden Walzen außerordentlich schnell gestoppt werden. Zum anderen muß der Prozeßrechner in der Lage sein, die Zeit absolut und relativ zu berücksichtigen. Man denke an die Steuerung von Zugabläufen – Weichen und Signale – der Eisenbahn. Hier sind Abfahrtzeiten dem fahrplanmäßigen, „absoluten" Wert nach von Bedeutung. Im Falle von Verspätungen aber sind Ankunftzeiten gemäß den Zuglaufzeiten „relativ" zu den tatsächlichen Abfahrtzeiten zu kontrollieren. Deswegen verfügen Prozeßrechner sowohl über eine elektronische Echtzeituhr als auch über weckerartige Zeitzähler, die vom Programm her auf eine bestimmte Zeitspanne gesetzt werden können. Ist ein Wecker abgelaufen, so bewirkt er eine Programmunterbrechung. Dazu folgendes Beispiel:

Angenommen, zu einer bestimmten Tageszeit muß in einem Tank ein Füllstand gemessen, protokolliert und auf einen Sollwert gebracht werden. Gemäß einer abgespeicherten Liste von Uhrzeitunterbrechungen wird zu diesem Zeitpunkt über das Organisationsprogramm des Prozeßrechners ein Füllstandssteuerprogramm aktiviert. Dieses bewirkt die Eingabe des Füllstandsmeßwertes, protokolliert diesen und stellt fest, daß er unter Sollstand ist. Daraufhin fordert es beim Organisationsprogramm ein Wekkerelement an, es erhält von diesem das gerade freie Wekkerelement 03. Nunmehr schaltet das Füllstandssteuerprogramm mittels der Ausgabe einer Schaltinformation eine Pumpe ein, setzt den Wecker auf eine Minute und mel-

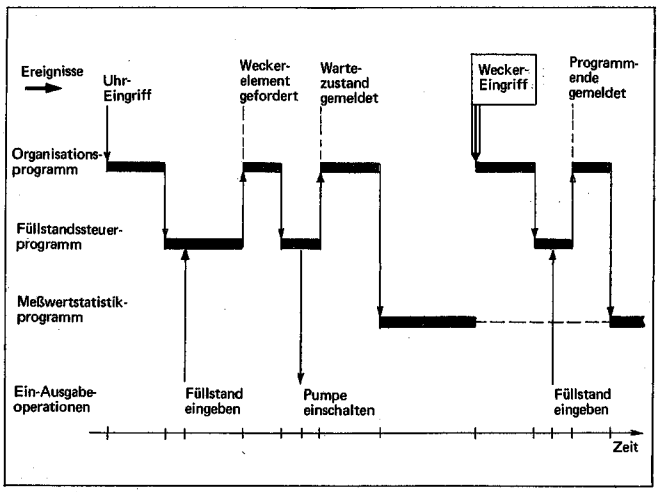


Bild 13/34. Programmunterbrechung.

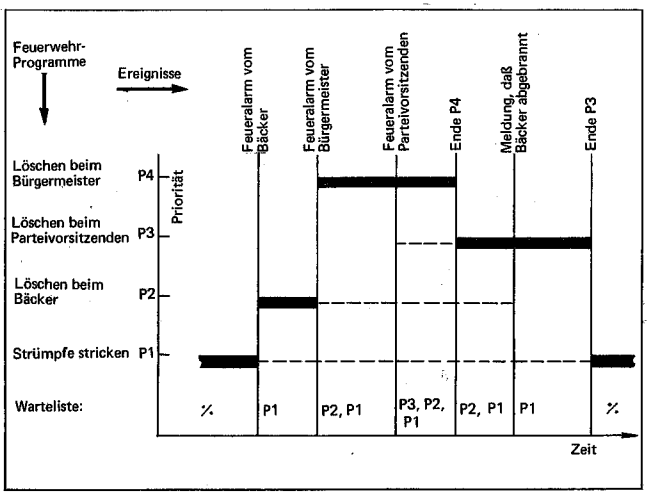


Bild 13/35. Vorrangsteuerung von Programmen.

det beim Organisationsprogramm Wartezustand an. Das Organisationsprogramm aktiviert daraufhin ein anderes Programm, z.B. eine statistische Auswertung der Meßwerte der vergangenen Woche. Nach einer Minute – in der Zwischenzeit sind etwa 30 Mill. Befehle abgearbeitet – hat der Wecker 03 den Stand 0 erreicht und bewirkt im Leitwerk eine Programmunterbrechung, Bild 13/34. Der Inhalt des Befehlsadreßregisters wird automatisch in einer bestimmten Speicherzelle sichergestellt. Sodann wird das Organisationsprogramm erneut gestartet. Dieses stellt nun sämtliche Registerinhalte des Rechenwerks ebenfalls im Arbeitsspeicher sicher, damit das unterbrochene statistische Programm später fortgesetzt werden kann. Sodann wird analysiert, von wo die Programmunterbrechung kam, also vom Weckerelement 03, das z.Z. dem Füllstandssteuerprogramm zugeordnet ist. Dieses Steuerprogramm wird nunmehr wieder in Gang gesetzt, bewirkt die erneute Eingabe eines Meßwertes, stellt z.B. das Erreichen des Sollstandes fest und meldet beim Organisationsprogramm Erledigung seiner Aufgabe. Das Organisationsprogramm übernimmt daraufhin wieder den Ablauf der Rechneraktivitäten, es streicht das Füllstandssteuerprogramm aus der Liste der aktiven Programme und löscht die Zuordnung des Weckerelements 03. Sodann bringt es die sichergestellten Werte des statistischen Programms wieder in die Rechenwerksregister und veranlaßt dessen Weiterlauf. Das statistische Programm hat gewissermaßen von seiner Unterbrechung gar nichts gemerkt.

Mit einer einzelnen Unterbrechung wird man also anscheinend ganz gut fertig. Was geschieht aber, wenn etwa zum Zeitpunkt der Aktivierung des Füllstandssteuerprogramms der unbelegte Arbeitsspeicherbereich für dieses nicht reicht oder sämtliche Weckerelemente belegt sind? Was, wenn das unterbrechende Programm seinerseits wieder unterbrochen wird? Die hier auftretenden Prioritätsprobleme zwischen Programmen sind in Bild 13/35 etwas scherzhaft, aber keineswegs unrealistisch dargestellt.

14. Die Lösungen zu den Übungen

Kapitel 1

Lösung 1/1

zu a) . . . in analoger Darstellung . . .
zu b) . . . digital anzeigende Instrumente.

Lösung 1/2

zu a) Die Zahleneingabe erfolgt beim digitalen Rechner in Form der Zifferneingabe (Tastenwahl).
Beim analog arbeitenden Rechenstab werden die Zahlenwerte in Form von Strecken eingegeben.

zu b) Beim digital arbeitenden Taschenrechner: durch Ziffern, also digital.
Beim analog arbeitenden Rechenstab: durch eine Strecke, also analog.

Lösung 1/3

Analoge Signale können innerhalb technischer Grenzen jeden beliebigen Zwischenwert einnehmen. Gibt z. B. eine Signalquelle max. 12 V ab, so liegen die technischen Grenzen bei 0 V und 12 V. Zwischen 0 V und 12 V ist jeder beliebige Wert denkbar.

Binäre Signale sind dadurch gekennzeichnet, daß nur zwei verschiedene Werte zu unterscheiden sind, z. B. 0 V und + 12 V. Andere binäre Signalwerte sind ebenfalls möglich, z. B. 0 V und − 9 V.

Lösung 1/4

Zur Analogtechnik gehören b) und e).
Zur Digitaltechnik gehören a), c), d) und f).

Lösung 1/5

Bild 1/57: $S = 8 + 4 + 0 + 1$
„dreizehn".

Bild 1/58: $S = 32 + 16 + 2 + 0{,}5 + 0{,}25$
„fünfzigkommafünfundsiebzig".

Lösung 1/6

zu 1. Die besonderen Vorteile der Digitaltechnik liegen
a) in der digitalen Darstellung,
b) in der digitalen Signalisierung von Informationen,
c) bei der binär-digitalen Signalform.

Diese Vorteile kommen besonders bei der Datenübertragung, der Datenspeicherung und der Verarbeitung großer Datenmengen zum Tragen.

zu 2. Es werden benötigt
a) im dezimalen Zahlensystem zwei Dezimalstellen:
$S_{10} = 35$,
b) im dualen Zahlensystem sechs Dualstellen:
$S_2 = \text{L000LL}$ (bzw. $S_2 = 100011$).

zu 3. Das duale Zahlensystem benötigt nur zwei verschiedene Ziffern: 0 und 1. Sie lassen sich technisch in Form binärer Signale übertragen, speichern und verarbeiten.

zu 4. $S_2 = \text{L0LLL}$ (bzw. $S_2 = 10111$).

zu 5. $S_{10} = 92$.

Lösung 1/7

zu a) Code-Systeme sind Zuordnungssysteme. Innerhalb eines zwischen Sender und Empfänger vereinbarten Code-Systems werden den einzelnen Nachrichtenelementen bestimmte Zeichen bzw. Symbole zugeordnet.

zu b) In der modernen Digitaltechnik werden bei der Codierung nur zwei verschiedene Zeichen herangezogen. Die Begründung hierfür liegt in der sicheren und wirtschaftlichen Verarbeitung, Übertragung und Speicherung binärer Signale.

Lösung 1/8

zu a) Größe eines bestimmten Teils der Papierfläche.

zu b) Sowohl Länge der eingezeichneten Weglinie als auch Entfernungszahl in km.

zu c) Die Angabe der Entfernung in km ist eine digitale Darstellung. Die Angabe der Papierfläche und die Wegangabe als Länge der Weglinie sind analoge Darstellungen.

zu d) Die ersten beiden Angaben sind digital; die letzte – auf einem Längennormal basierend – ist analog, obwohl hilfsweise digitale Elemente – Zahlen – benutzt werden.

zu e)

Handlung	Informationsübertragung an	physikalische Signalform	Art des Signals
Steuerrad drehen	Lenkmechanismus	Drehwinkel bzw. Längsverschiebung	analog
Blinkerhebel betätigen	Blinkanlage	Drehwinkel, Spannung	digital
Fußbremse betätigen	Bremstrommeln bzw. -scheiben	Längsverschiebung, Öldruck	analog
Licht einschalten	Scheinwerfer	Spannung	digital
Lichtstärke der Armaturenbrettbeleuchtung ändern	Amaturenbrettbeleuchtung	Drehwinkel, Spannung	analog
Hupe betätigen	Hupe	Spannung	digital
Gas geben	Vergaser	Drehwinkel, Längenänderung	analog
Auf- bzw. Abblenden	Scheinwerfer	Spannung	digital

Lösung 1/9

zu a) Nur die dritte Aussage ist richtig.

zu b) Das analoge Signal kann einen zusammenhängenden Bereich überstreichen. Das digitale Signal spart – von kurzfristigen Übergängen abgesehen – bestimmte Zwischenbereiche aus.

zu c) Die erste Aussage ist falsch; man vergleiche etwa die – analogen – Füllstandsmesser von Autotanks. Die zweite Aussage ist sinnlos, da Zu- bzw. Abnehmen eine Frage der (Skalen-) Orientierung bzw. der technischen Realisierung ist. Nimmt etwa das Signal Winkelstellung eines Zeigers bei Rechts- oder bei Linksdrehung zu? Könnte nicht die Leuchtstärke einer Schmierölwarnleuchte mit sinkendem Ölstand zunehmen? Die dritte Aussage wäre richtig, wenn es nicht immer bestimmte Signalwertschwankungen unabhängig von Meßwertschwankungen gäbe; man vergleiche etwa das Rauschen eines eingeschalteten Lautsprechers, wenn keine Übertragung erfolgt. Es sei hier noch einmal auf den Kennlinienschlauch hingewiesen. Die vierte Aussage ist richtig, die fünfte folgt daraus zwingend, ist also ebenfalls richtig.

zu d) Zwei bzw. zehn.

zu e) Die Vorteile der digitalen gegenüber der analogen Darstellung:

1. Es gibt einen weiten Toleranzbereich erlaubter Schwankungen des Signalwertes, die keine Verfälschung der übertragenen Information bewirken. So kann die Winkelstellung eines Ziffernrades beim Kilometerzähler ohne weiteres um 10° von der Ideallage abweichen, ohne daß man einen falschen Wert abliest.

2. Man ist infolgedessen weitgehend unabhängig von Instabilitäten des Arbeitspunktes, der Hysterese, Alterung u. ä.

3. Durch Hinzunahme weiterer Stellen (Zählräder) kann man die Genauigkeit grundsätzlich beliebig steigern (sofern die Meßgenauigkeit mithält).

4. Objektivierte Ablesung, Vergleich mit einem Normal entfällt.

Die Vorteile der analogen gegenüber der digitalen Darstellung:

1. Bei geringen Genauigkeitsansprüchen geringerer Aufwand.

2. Optisch-intuitiv schneller wahrnehmbar.

Lösung 1/10

zu a) Diese Frage ist sinnlos; man vergleiche etwa Bild 1/11. Man könnte höchstens die Frage nach der erreichbaren Genauigkeit bei unbegrenztem Aufwand zugunsten der digitalen Darstellung entscheiden.

zu b) Fast $1/100\,000 = 10^{-5}$.
Der Aufwand würde um ein weiteres Ziffernrad steigen, also um rd. 20% bzw. den Faktor 1,2, die Genauigkeit aber um den Faktor 10.

zu c) Das dritte Angebot kann nur ein Betrugsversuch sein, da das menschliche Auge einer laufenden Hundertstel-Sekunden-Anzeige nicht folgen kann.

Lösung 1/11

zu a) Zehn bzw. zwei.

zu b) Die Basis gibt u. a. an, wieviel verschiedene Ziffernsymbole benötigt werden.

zu c)

Stellen-Nr.	3	2	1	0	-1	-2	
Stelleninhalt	4	5	6	9	2	3	
Stellenwert	1000	100	10	1	1/10	1/100	

Der Stellenwert für die Stellen-Nr. n ist 10^n.

zu d) 0000 (null), LLLL (fünfzehn).

zu e) Ein Code ist eine Zuordnung von Kombinationen von Symbolen eines Alphabets zu bestimmten Begriffen.

zu f) Ein Wort ist eine Folge von Symbolen, die aus einem Alphabet ausgewählt sind. Das gleiche Symbol kann mehrfach vorkommen, die Reihenfolge ist aber wesentlich. Zwei Worte sind also nur gleich, wenn sie aus gleich vielen Symbolen bestehen und an jeder Stelle jeweils das gleiche Symbol steht.

zu g) 1-aus-10-Code, nämlich je eine L.
2-aus-5-Code, nämlich je zwei L.

zu h) Es werden durch 0L0L dargestellt:
die Ziffer 5 im 8-4-2-1-Code,
die Ziffer 6 im Gray-Code.

zu i) Entspricht der Dezimalziffer 6 im 2-aus-5-Code, der Dezimalziffer 9 oder dem Buchstaben O(tto) im CCITT-2-Code.

Lösung 1/12

zu a)

	357	101	101	37	5	5	5	1	1	0
–	256	128	64	32	16	8	4	2	1	
	L	0	L	L	0	0	L	0	L	

zu b)

357 : 2 = 178 Rest 1 → L
178 : 2 = 89 Rest 0 → 0
89 : 2 = 44 Rest 1 → L
44 : 2 = 22 Rest 0 → 0
22 : 2 = 11 Rest 0 → 0
11 : 2 = 5 Rest 1 → L
5 : 2 = 2 Rest 1 → L
2 : 2 = 1 Rest 0 → 0
1 : 2 = 0 Rest 1 → L

L 0 L L 0 0 L 0 L

zu c)

L	0	L	L	0	0	L	0	L
256	128	64	32	16	8	4	2	1

Summe = 256 + 64 + 32 + 4 + 1 = 357

zu d)

$LLLL_{dual} = 15_{dezimal}$.
Anhängen einer 0 bedeutet Multiplikation mit 2. Anhängen von vier Nullen bedeutet also Multiplikation mit $2^4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$. Dies ist der gesuchte Faktor.

Kapitel 2

Lösung 2/1

6 bis 8.

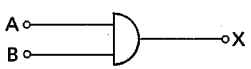
Lösung 2/2

Die Aussage ist unwahr. Kürzt man die Aussage mit Y ab, so gilt $Y = 0$.

Lösung 2/3

Die Variablen sind hier: Das Bedienungspersonal ist außerhalb des Gefährdungsraumes (A), der Auslöseschalter wird betätigt (B) und das Messer darf einen Arbeitshub ausführen (X).

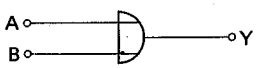
$X = A \wedge B$



Lösung 2/4

Abkürzung der Teilaussagen:
Wärmezufuhr muß abgeschaltet werden (Y),
Temperatur zu hoch (A),
Füllstand zu niedrig (B).

$Y = A \vee B$



Lösung 2/5

1. Das Wasser ist NICHT heiß.
2. Es ist heute NICHT kalt.
3. Der Aufzug ist NICHT in der dritten Etage.
4. Der Endschalter hat NICHT angesprochen.

Lösung 2/6

Die beschriebene Kombination bedeutet:
$A = L$, $B = 0$, $C = 0$. Dies entspricht der 5. Zeile der in Bild 2/18 gezeigten Funktionstabelle: $Z = 0$.

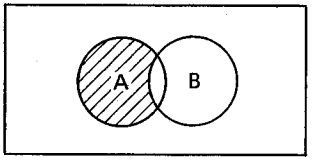
Lösung 2/7

Bild I stellt die Fläche aller Punkte dar, die nicht zu dem Kreis gehören. Es charakterisiert somit die Variable $\overline{B}$.

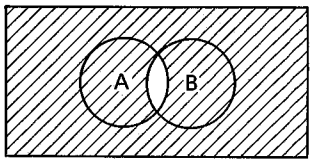
In Bild II gehören alle Punkte der Menge zu dem Kreis. Es symbolisiert deshalb die Variable B.

Lösung 2/8

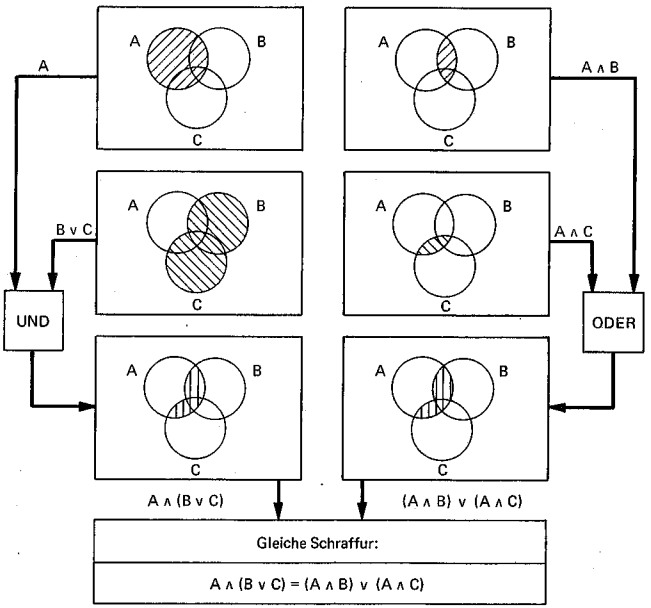
zu a)



zu b) Alles, was außerhalb des Bereiches $A \wedge B$ liegt, muß schraffiert werden; denn in allen anderen Teilen des Diagramms befindet man sich entweder nicht in A ODER nicht in B.



Lösung 2/9



Lösung 2/10

Lösungstabelle.

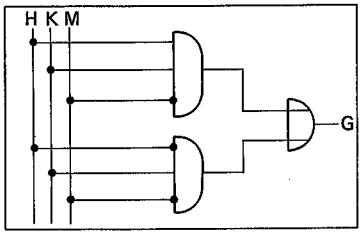
A	B	A ∧ B	A ∨ B	A ∨ (A ∧ B)	A ∧ (A ∨ B)
0	0	0	0	0	0
0	L	0	L	0	0
L	0	0	L	L	L
L	L	L	L	L	L

A ∨ (A ∧ B) = A

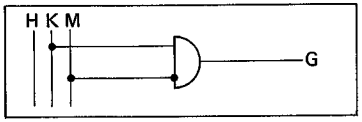
A ∧ (A ∨ B) = A

Lösung 2/11

$G = \overbrace{(H \vee \bar{H})}^{L} \wedge (K \wedge \bar{M}) = L \wedge (K \wedge \bar{M}) = (K \wedge \bar{M})$.
$G = K \wedge \bar{M}$.



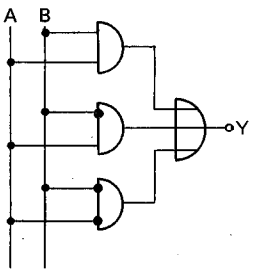
Symbolplan der ursprünglichen Funktion G



Symbolplan der vereinfachten Funktion G
(Variable H ist unwirksam)

Lösung 2/12

A	B	Y	
0	0	L	$\bar{A} \wedge \bar{B}$
0	L	0	
L	0	L	$A \wedge \bar{B}$
L	L	L	$A \wedge B$

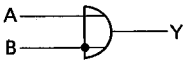


Vereinfachung
$Y = (A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$.
Anwendung von $A = A \vee A$.
$Y = (A \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$

Verteilungssatz
$Y = [(B \vee \bar{B}) \wedge A] \vee [(A \vee \bar{A}) \wedge \bar{B}]$
Komplementierung:
$A \vee \bar{A} = L$; $B \vee \bar{B} = L$
Absorption:
$A \wedge L = A$; $\bar{B} \wedge L = \bar{B}$
$Y = A \vee \bar{B}$

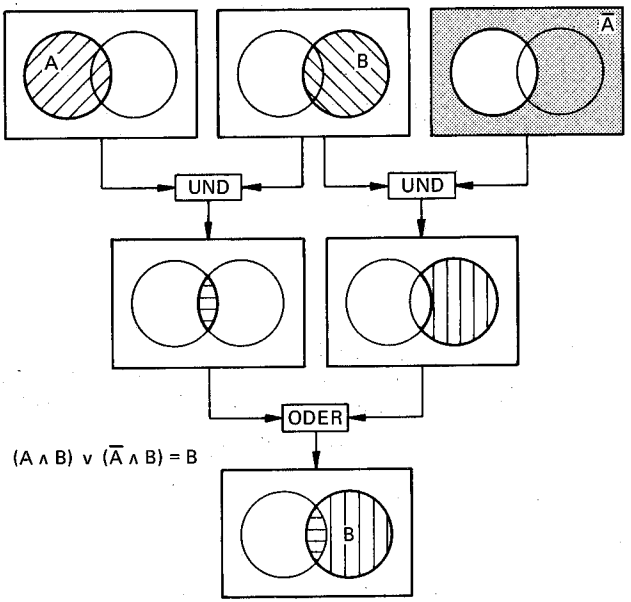
Lösung

$Y = A \vee \bar{B}$.



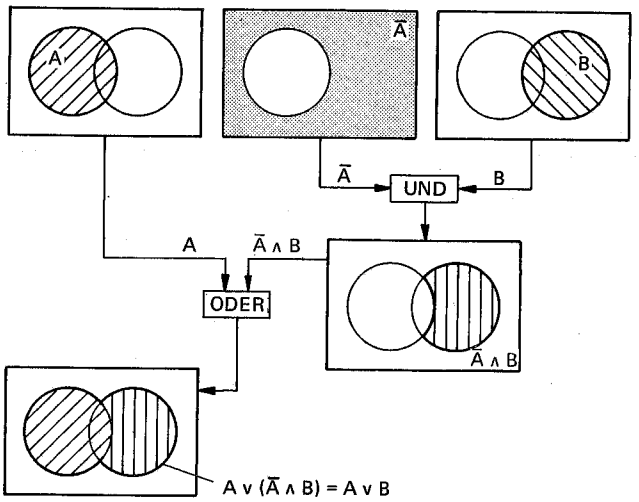
Lösung 2/13

zu a)



$(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge B) = B$

zu 2/13 b)



zu c)

$(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge B)$

Vertauschungsgesetz: $A \wedge B = B \wedge A$

$= (B \wedge A) \vee (B \wedge \bar{A})$

Verteilungsgesetz: $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$

$= B \wedge (A \vee \bar{A})$

Komplementgesetz: $A \vee \bar{A} = L$

$= B \wedge L$

Vertauschungsgesetz

$= L \wedge B$

Absorptionsgesetz: $L \wedge A = A$

$= B$

zu d)

$A \vee (\bar{A} \wedge B)$

Verteilungsgesetz: $A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$

$= (A \vee \bar{A}) \wedge (A \vee B)$

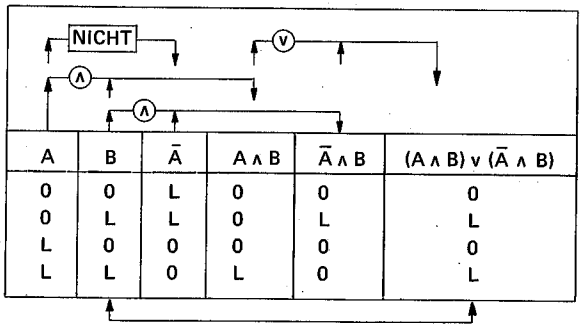
Komplementgesetz: $A \vee \bar{A} = L$

$= L \wedge (A \vee B)$

Absorptionsgesetz: $L \wedge A = A$

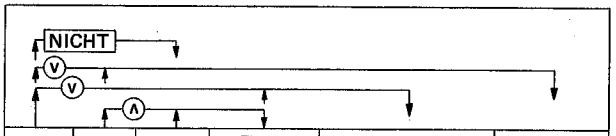
$= A \vee B$

zu e)



A	B	Ā	A ∧ B	Ā ∧ B	(A ∧ B) ∨ (Ā ∧ B)
0	0	L	0	0	0
0	L	L	0	L	L
L	0	0	0	0	0
L	L	0	L	0	L

zu f)



A	B	Ā	Ā ∧ B	A ∨ (Ā ∧ B)	A ∨ B
0	0	L	0	0	0
0	L	L	L	L	L
L	0	0	0	L	L
L	L	0	0	L	L

zu g)

$A \wedge f(A, B) \quad = A \wedge f(L, B)$

$A \wedge (A \vee B) \quad = A \wedge (L \vee B) \quad f(A, B) = A \vee B$

$= A \wedge L = A \quad L \vee B = L$

zu h)

$A \vee f(A, B) \quad = A \vee f(0, B)$

$A \vee (\bar{A} \wedge B) \quad = A \vee (\bar{0} \wedge B) \quad f(A, B) = \bar{A} \wedge B$

$= A \vee B \quad \bar{0} = L, L \wedge B = B$

zu i)

	linke Seite $A \wedge f(A, B, \ldots H)$	rechte Seite $A \wedge f(L, B, \ldots H)$
für A = 0	$0 \wedge f(0, B, \ldots H) = 0$	$0 \wedge f(L, B, \ldots H) = 0$
für A = L	$L \wedge f(L, B, \ldots H)$	$L \wedge f(L, B, \ldots H)$

zu k)

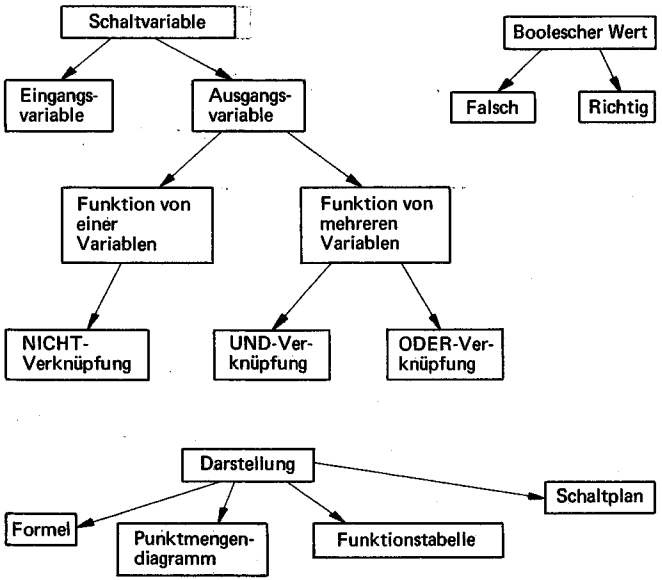
	linke Seite $A \vee f(A, B, \ldots H)$	rechte Seite $A \vee f(0, B, \ldots H)$
für A = 0	$0 \vee f(0, B, \ldots H)$	$0 \vee f(0, B, \ldots H)$
für A = L	$L \vee f(L, B, \ldots H) = L$	$L \vee f(0, B, \ldots H) = L$

Lösung 2/14

zu a)
Schaltvariable, Binäre Variable, Boolesche Variable, Logische Variable, Zweiwertige Variable, Aussage.
Eingangsvariable, Eingangsgröße, freie Variable, unabhängige Variable.

Ausgangsvariable, Abhängige Variable, Ausgangsgröße, Boolesche Funktion, Schaltfunktion, Verknüpfung.
Funktion von einer Variablen.
Funktion von mehreren Variablen.
NICHT-Verknüpfung.
UND-Verknüpfung.
ODER-Verknüpfung.
Boolescher Wert, Binärer Wert, Logischer Wert.
Falsch, 0, Unwahr, Nicht erfüllt.
Richtig, L, Wahr, Erfüllt.
Darstellung von Schaltfunktionen.
Formel.
Punktmengendiagramm.
Funktionstabelle.
Schaltplan, Schaltsymbol, Schaltzeichen, Logikplan, Symbolplan.

zu b)



zu c) Eine Aussage im Booleschen Sinne liegt nur vor, wenn zweifelsfrei entschieden werden kann, ob sie richtig oder falsch ist. Bei der vorgelegten Aussage ist dies nicht möglich; es bleibt sogar unklar, was überhaupt gemeint ist. Es könnten u. a. alternativ gemeint sein:

- Zu einem bestimmten Zeitpunkt ist die niedrigste in Australien vorkommende Lufttemperatur höher als die höchste in Algerien zum gleichen Zeitpunkt vorkommende.
- Die – irgendwie definierte – mittlere Jahrestemperatur in Australien liegt höher als die in Algerien.
- Zu einem bestimmten Zeitpunkt wird an einer bestimmten Stelle in Australien eine höhere Temperatur gemessen als zum gleichen Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle in Algerien.

Nur falls die letzte Aussage gemeint und entsprechend präzise formuliert wäre, würde eine Aussage im Booleschen Sinne vorliegen.

Lösung 2/15

zu a)
$(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C) = A \wedge B \wedge C$
$(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C) = A \vee B \vee C$

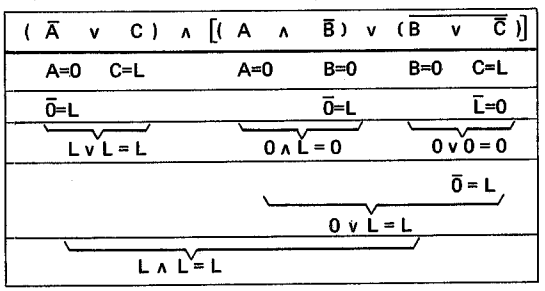
Man kann eine mehrfache UND-Verknüpfung bzw. eine mehrfache ODER-Verknüpfung in beliebiger Reihenfolge ausrechnen.

zu b) Wenn in einer UND-Verknüpfung eine nicht negierte Variable den Wert FALSCH hat, so gilt dies auch für die gesamte UND-Verknüpfung.

zu c) Wenn in einer ODER-Verknüpfung eine nicht negierte Variable den Wert RICHTIG hat, so gilt dies auch für die gesamte ODER-Verknüpfung.

zu d)
$(0 \wedge 0) \vee L = L$, dagegen $0 \wedge (0 \vee L) = 0$;
$(0 \wedge L) \vee L = L$, dagegen $0 \wedge (L \vee L) = 0$.

zu e)



Lösung 2/16

zu a) Außer den bisherigen Aussagen bzw. Variablen

A Strecke *A* ist frei,
B Strecke *B* ist frei,
C Signal *C* gibt Durchfahrt frei,
Z Signal *Z* gibt Durchfahrt frei,

werden folgende neue Variablen benötigt:

V linke Weiche steht nach oben (Strecke *A*)
W rechte Weiche steht nach oben (Einfahrt von Signal *Z* her)
T Signal *Z* wird betätigt.

zu b)

Signal *Z* gibt Durchfahrt frei (*Z*),

wenn:	Signal *Z* betätigt wird (*T*)
UND NICHT	Signal *C* Durchfahrt frei gibt (*C*)
UND	rechte Weiche nach oben steht (*W*)
UND	linke Weiche nach oben steht (*V*)
UND	Strecke *A* frei ist (*A*)
ODER wenn:	Signal *Z* betätigt wird (*T*)
UND NICHT	Signal *C* Durchfahrt frei gibt (*C*)
UND	rechte Weiche nach oben steht (*W*)
UND NICHT	linke Weiche nach oben steht (*V*)
UND	Strecke *B* frei ist (*B*).

Daraus ergibt sich folgende Funktionsgleichung:

$Z = (T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge V \wedge A) \vee (T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge \overline{V} \wedge B)$.

zu c)

P Durchfahrt nach Strecke *A* hin ist frei.

$$P = T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge V \wedge A.$$

zu d)

Q Durchfahrt nach Strecke *B* hin ist frei.

$$Q = T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge \overline{V} \wedge B.$$

Signal *Z* gibt Durchfahrt frei,

wenn:	Durchfahrt nach Strecke *A* hin frei ist (*P*)
ODER wenn:	Durchfahrt nach Strecke *B* hin frei ist (*Q*).

$$Z = P \vee Q.$$

zu e)

Ausfahrt nach links hin ist frei,

wenn:	linke Weiche nach oben steht (*V*)
UND	Strecke *A* frei ist (*A*)
ODER NICHT wenn:	linke Weiche nach oben steht (*V*)
UND	Strecke *B* frei ist (*B*).

$$R = (V \wedge A) \vee (\overline{V} \wedge B).$$

zu f)

Signal *Z* gibt Durchfahrt frei,

wenn:	Signal *Z* betätigt wird (*T*)
UND NICHT	Signal *C* Durchfahrt frei gibt (*C*)
UND	die rechte Weiche nach oben steht (*W*)
UND	Ausfahrt nach links hin frei ist (*R*).

$$Z = T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge R.$$

zu g)

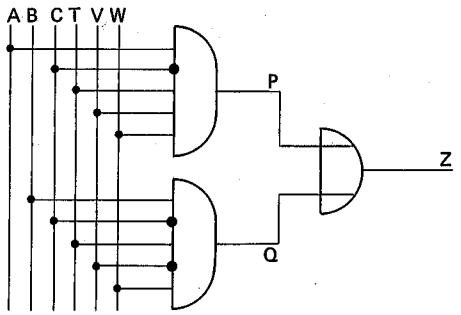
$Z = (T \wedge \overline{C} \wedge W) \wedge ((V \wedge A) \vee (\overline{V} \wedge B))$.

Hier ist der gemeinsame Teil $T \wedge \overline{C} \wedge W$ der beiden UND-Verknüpfungen aus Lösung 2/16 b) „ausgeklammert".

zu h)

E Einfahrt von *Z* her ist möglich.

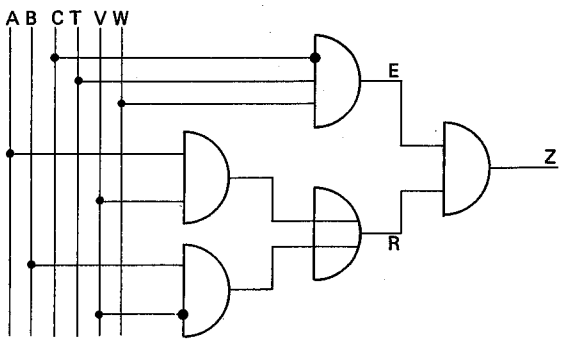
zu i)



zu k)

In der Formel $Z = (T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge V \wedge A) \vee (T \wedge \overline{C} \wedge W \wedge \overline{V} \wedge B)$ müssen in erster Priorität die beiden UND-Verknüpfungen ausgerechnet werden, dann erst die ODER-Verknüpfung. Dem entspricht im Signalfluß des Logikplans aus Lösung 2/16 i), daß sich zuerst die Signalwerte von *P* und *Q* bilden müssen, bevor Z entsteht.

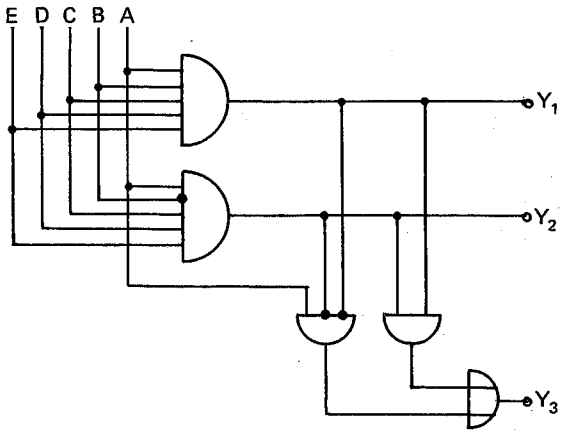
zu l)



zu m)
In der Formel $Z = (T \wedge \overline{C} \wedge W) \wedge ((V \wedge A) \vee (\overline{V} \wedge B))$ haben die beiden UND-Verknüpfungen ganz rechts die höchste Priorität. Ihre Werte werden in zweiter Priorität zu R ODER-verknüpft. In derselben Priorität wird die UND-Verknüpfung für $E = T \wedge \overline{C} \wedge W$ realisiert. In letzter Priorität werden E und R UND-verknüpft. In analoger Reihenfolge bilden sich im Logikplan die entsprechenden Zwischen- bzw. Ausgangswerte.

Kapitel 3

Lösung 3/1 !



Lösung 3/2 !

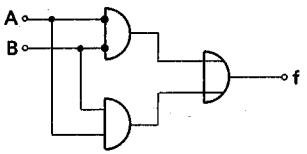
zu 1. Definition der Variablen:
$f = f(A, B)$.

zu 2. Funktionstabelle.

A	B	f	
0	0	L	← hier haben
0	L	0	A und B gleiche
L	0	0	Schaltwerte
L	L	L	←

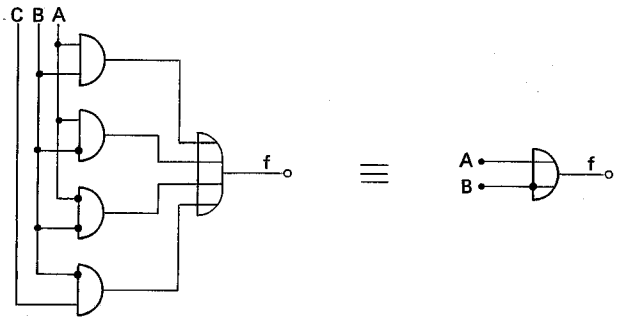
zu 3. Ablesen der Schaltfunktion und Formel.
$f = (\overline{A} \wedge \overline{B}) \vee (A \wedge B)$.

zu 4. Symbolplan.



Lösung 3/3

$f = (A \wedge B) \vee (A \wedge \overline{B}) \vee (\overline{A} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{B} \wedge C)$,
$= (A \wedge B) \vee (A \wedge \overline{B}) \vee (A \wedge \overline{B}) \vee (\overline{A} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{B} \wedge C)$,
$= A \wedge (B \vee \overline{B}) \vee (A \vee \overline{A}) \wedge \overline{B} \vee (\overline{B} \wedge C)$,
$= A \vee \overline{B} \vee (\overline{B} \wedge C)$,
$= A \vee (\overline{B} \wedge L) \vee (\overline{B} \wedge C)$,
$= A \vee \overline{B} \wedge (L \vee C)$,
$f = A \vee \overline{B}$.



Lösung 3/4

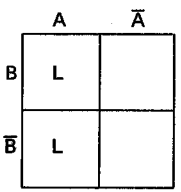
Es ist nur das rechte obere Teilfeld mit L besetzt. Die Schaltfunktion lautet demnach
$Y = B \wedge \overline{A}$.

Lösung 3/5

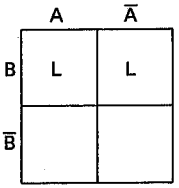
Das gesuchte KV-Diagramm.

Es wird das KV-Diagramm für eine ODER-Verknüpfung von zwei Variablen gesucht. Ein KV-Diagramm für zwei Variable umfaßt vier Rechteckfelder.

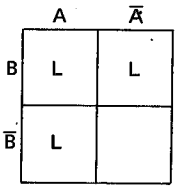
Es muß nun in alle diejenigen Teilfelder ein L eingetragen werden, die zu der Punktmenge A



ODER
die zu der Punktmenge B gehören.



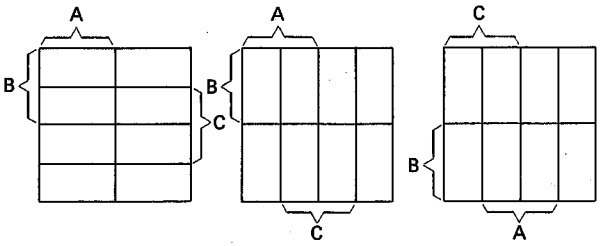
Die Punktmenge der ODER-Funktion wird also im KV-Diagramm durch die Teilfelder



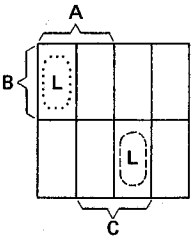
repräsentiert.

Lösung 3/6

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Anordnung der Variablen, z. B.

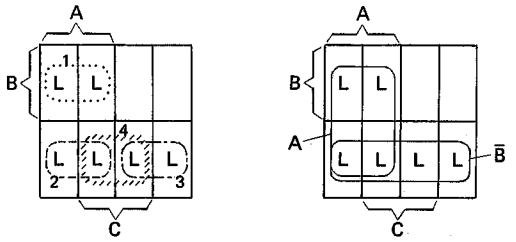


Für die in der Mitte dargestellte KV-Form besitzt
$f = (A \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge \overline{B} \wedge C)$
die Darstellung:



Lösung 3/7

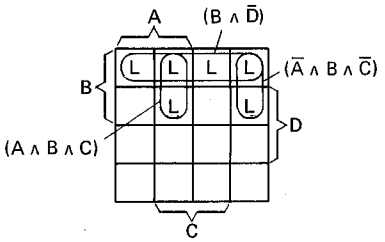
$f = \overbrace{(A \wedge B)}^{1} \vee \overbrace{(A \wedge \overline{B})}^{2} \vee \overbrace{(\overline{A} \wedge \overline{B})}^{3} \vee \overbrace{(\overline{B} \wedge C)}^{4}.$



Durch Zusammenfassung der L zu möglichst großen Elementarblöcken findet man die vereinfachte Form von f:
$f = A \vee \overline{B}$.

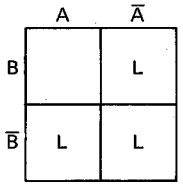
Lösung 3/8

Die Zusammenfassung zu Elementarblöcken ergibt die Form
$f = (B \wedge \overline{D}) \vee (A \wedge B \wedge C) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C})$

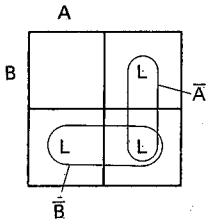


Lösung 3/9

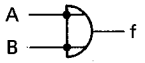
Der Symbolplan stellt die Funktion
$f = (A \wedge \overline{B}) \vee (\overline{A} \wedge B) \vee (\overline{A} \wedge \overline{B})$
dar, deren KV-Diagramm die folgende Form besitzt:



Die Zusammenfassung zu Elementarblöcken führt auf die Formel
$f = \overline{A} \vee \overline{B}$.



Der vereinfachte Symbolplan hat also das folgende Aussehen:



Lösung 3/10

zu a) In der zweitletzten Eingangsspalte B wechseln sich Gruppen von je zwei 0 und je zwei L miteinander ab.
In der drittletzten Eingangsspalte A wechseln sich Gruppen von je vier 0 und je vier L miteinander ab.
Jede Spalte beginnt in der ersten Zeile mit einer 0-Gruppe.

zu b) Die Gruppenlänge verdoppelt sich.

zu c) Bei fünf Variablen lauten die Gruppenlängen in den Eingangsspalten der Reihe nach von rechts nach links:
$1 = 2^0$, $2 = 2^1$, $4 = 2^2$, $8 = 2^3$, $16 = 2^4$.

zu d) Immer zwei, und zwar je eine zusammenhängende 0- und eine zusammenhängende L-Gruppe.

zu e) Die Zeilenzahl der Tabelle ist das Doppelte der Gruppenlänge in der vordersten Spalte. Hat man nur eine Variable, so gibt es nur eine Spalte mit der Gruppenlänge $1 = 2^0$ und der Zeilenzahl $2 \cdot 1 = 2^1$. Weiterhin gilt:

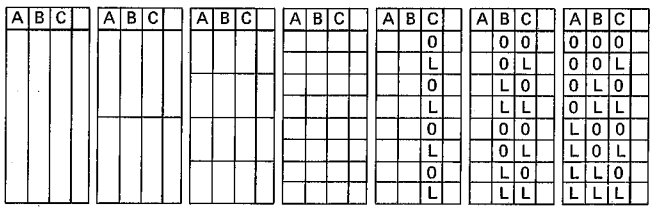
Variablenzahl	Gruppenlänge in vorderer Spalte	Zeilenzahl in der Tabelle
1	$2^0 = 1$	$2 \cdot 2^0 = 2^1 = 2$
2	$2^1 = 2$	$2 \cdot 2^1 = 2^2 = 4$
3	$2^2 = 4$	$2 \cdot 2^2 = 2^3 = 8$
4	$2^3 = 8$	$2 \cdot 2^3 = 2^4 = 16$

zu f) Die Werte sind gleich bzw. wiederholen sich. In der fünften Zeile steht das gleiche wie in der ersten, in der sechsten das gleiche wie in der zweiten usw.

zu g) „. . . alle möglichen Wertkombinationen der übrigen Eingangsvariablen."

zu h) Die Wertkombinationen in den Spalten A und C sind für folgende Zeilenpaare gleich:
1. und 3. Zeile, 2. und 4., 5. und 7., 6. und 8. Zeile.

zu i) Für eine Funktionstabelle mit drei unabhängigen Variablen braucht man drei Eingangsspalten, eine Ausgangsspalte und $2^3 = 8$ Zeilen. Das Aussehen der Tabelle entwickelt sich bei geschicktem Zeichnen in folgender Reihenfolge:



zu j) 0, 1, 2, . . ., 7.

zu k) In der Z-Spalte der Funktionstabelle von $Z = \overline{A} \wedge B \wedge C$ kommt nur eine L vor. Diese L steht in der Zeile, in der $A = 0$ und $B =$ L und $C =$ L ist.

zu l) Im algebraischen Ausdruck einer Funktion, in deren Tabelle der Funktionswert L ein einziges Mal steht,
– kommt jede Variable genau einmal vor, entweder mit oder ohne Negationsstrich,
– kommt außer der Negation nur die Verknüpfung UND vor.

Anmerkung: Für drei Variable gibt es wegen der acht Zeilen der Funktionstabelle genau acht Funktionen des geschilderten Typus. Man könnte daher die angegebene Lösung beweisen, indem man alle acht Funktionen dieses Typs algebraisch formuliert. Die erste davon – das einzige L in der ersten Zeile der Funktionstabelle – würde lauten:
$Z = \overline{A} \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}$.

zu m)

$Z_0 = \overline{A} \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}$ $\quad Z_1 = \overline{A} \wedge \overline{B} \wedge C$
$Z_2 = \overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}$ $\quad Z_3 = \overline{A} \wedge B \wedge C$
$Z_4 = A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}$ $\quad Z_5 = A \wedge \overline{B} \wedge C$
$Z_6 = A \wedge B \wedge \overline{C}$ $\quad Z_7 = A \wedge B \wedge C$

Man nennt diese Funktionen MINTERME, da in ihrer Tabelle nur einmal der Funktionswert L vorkommt.

zu n) 2. . . . die Verknüpfung UND eingefügt.
3. . . . selbst den Wert 0 hat, so wird sie negiert.

zu o) Die Tabelle enthält zweimal den Funktionswert L, und zwar in den Zeilen, in denen
$A = 0, B =$ L, $C =$ L sowie $A =$ L, $B = 0$, $C = 0$ ist.

zu p) Zu jedem der beiden Funktionswerte L wird der zugehörige Minterm gebildet. Die beiden Minterme werden ODER-verknüpft.

Anmerkung: Damit ist für jede logische Funktion in Anlehnung an ihre Tabelle aus der Vielzahl möglicher algebraischer Darstellungen ein ganz bestimmter algebraischer Ausdruck eindeutig zugeordnet. Man nennt diese algebraische Darstellung die MINTERMNORMALFORM oder auch die DISJUNKTIVE NORMALFORM der betreffenden Funktion. Im Sinne der in diesem Kapitel gezeigten Vereinfachungen von logischen Ausdrücken bzw. Schaltplänen kann die MINTERMNORMALFORM im allgemeinen noch vereinfacht werden.

zu q)

$X = (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge C)$.

zu r)

$$
\begin{aligned}
X &= (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge C) \quad \vee \quad (A \wedge B \wedge C), \\
&= (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge C), \\
&= (\overline{A} \wedge B) \wedge (\overline{C} \vee C) \quad \vee (A \wedge \overline{B}) \wedge (\overline{C} \vee C) \quad \vee (A \wedge C) \wedge (\overline{B} \vee B), \\
&= (\overline{A} \wedge B) \wedge L \quad \vee (A \wedge \overline{B}) \wedge L \quad \vee (A \wedge C) \wedge L, \\
&= (\overline{A} \wedge B) \quad \vee (A \wedge \overline{B}) \quad \vee (A \wedge C).
\end{aligned}
$$

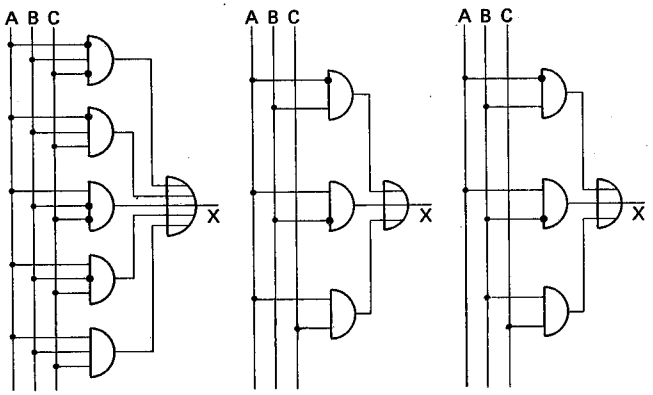
Hier wurden von Zeile zu Zeile der Reihe nach folgende Gesetze angewandt:

Tautologie, Distributivität zusammen mit Kommutativität, Komplement, Absorption.

$$
\begin{aligned}
X &= (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge C) \quad \vee \quad (A \wedge B \wedge C), \\
&= (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge C), \\
&= (\overline{A} \wedge B) \wedge (\overline{C} \vee C) \quad \vee (A \wedge \overline{B}) \wedge (C \vee \overline{C}) \quad \vee (B \wedge C) \wedge (\overline{A} \vee A), \\
&= (\overline{A} \wedge B) \wedge L \quad \vee (A \wedge \overline{B}) \wedge L \quad \vee (B \wedge C) \wedge L, \\
&= (\overline{A} \wedge B) \quad \vee (A \wedge \overline{B}) \quad \vee (B \wedge C).
\end{aligned}
$$

zu s)

Die Frage nach „der einfachsten Darstellung von *X*" ist irreführend gestellt. *Die* einfachste Darstellung von *X* gibt es nämlich gar nicht. Es gibt hier vielmehr zwei verschiedene, gleich einfache Darstellungen von *X*.



zu t) Vorteile:

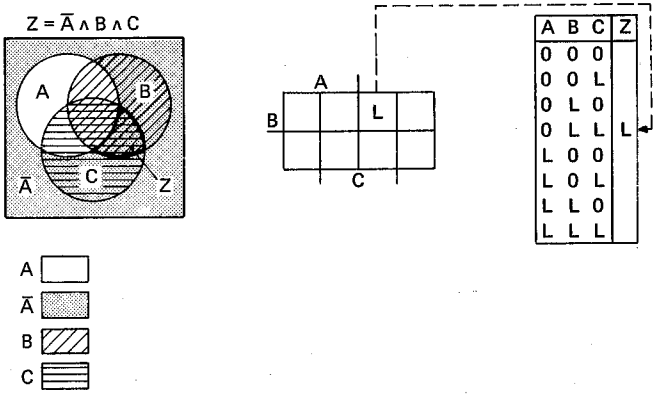
1. Für jede logische Funktion gibt es – abgesehen von der Reihenfolge der Variablen bzw. der Minterme – nur eine Mintermnormalform.
2. Zwischen Funktionstabelle und Mintermnormalform besteht ein eindeutiger Zusammenhang.
3. Die Mintermnormalform ist unmittelbar aus der Funktionstabelle ableitbar.

Nachteil:

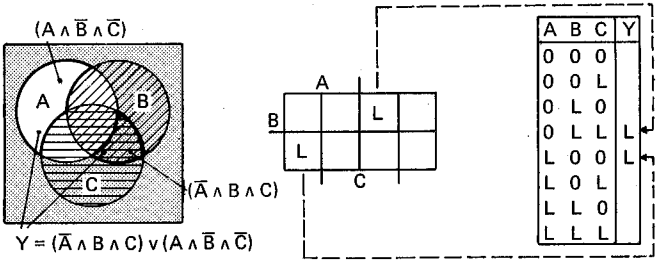
Die Mintermnormalform ist im allgemeinen nicht die einfachste algebraische Darstellung einer Funktion.

Lösung 3/11 !

zu a)



zu b)



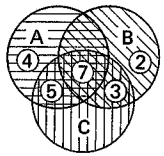
zu c) Das KV-Diagramm für drei Variable umfaßt acht Felder, von denen je eines einer Zeile der Funktionstabelle bzw. einem Minterm entspricht. Die drei Kreise der Punktmengendarstellung einer Funktion von drei Variablen unterteilen die Grundmenge in folgende acht Teilbereiche:

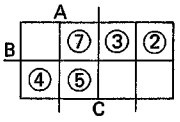
1. gemeinsames Äußeres der Gesamtheit der Kreise,
2. 3. 4. Teil eines jeden Kreisinnern, das außerhalb der beiden anderen Kreise liegt,
5. 6. 7. gemeinsame Teile von je zwei Kreisen, die außerhalb des dritten liegen,
8. gemeinsamer Teil aller drei Kreise.

Jeder dieser acht Teilbereiche entspricht einer Zeile der Funktionstabelle bzw. einem Feld des KV-Diagramms bzw. einem Minterm.

zu d)

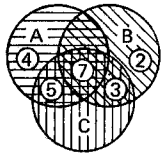
$$X = (\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{A} \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge C)$$
$$= \quad Z_2 \quad \vee \quad Z_3 \quad \vee \quad Z_4 \quad \vee \quad Z_5 \quad \vee \quad Z_7$$

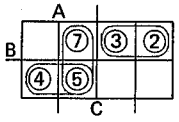




zu e)

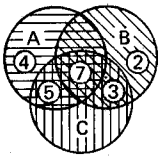
1. vereinfachte Darstellung von X

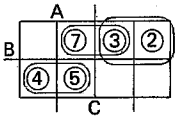




$X = \underbrace{(\overline{A} \wedge B)}_{②\text{und}③} \vee \underbrace{(A \wedge \overline{B})}_{④\text{und}⑤} \vee \underbrace{(A \wedge C)}_{⑤\text{und}⑦}$

2. vereinfachte Darstellung von X





$X = \underbrace{(\overline{A} \wedge B)}_{②\text{und}③} \vee \underbrace{(A \wedge \overline{B})}_{④\text{und}⑤} \vee \underbrace{(B \wedge C)}_{③\text{und}⑦}$

zu f) Doppelt benötigt wurden
für die erste vereinfachte Darstellung: $Z_5 = A \wedge \overline{B} \wedge C$,
für die zweite vereinfachte Darstellung: $Z_3 = \overline{A} \wedge B \wedge C$.
Diese Minterme werden zur Vereinfachung sowohl beim Rechnen als auch in dem KV-Diagramm als auch in der Punktmengendarstellung jeweils doppelt benötigt.

zu g) Die beiden Minterme gehören zu benachbarten Feldern des *KV*-Diagramms. Auch in dem KV-Diagramm werden diese beiden Felder zusammengefaßt.

Lösung 3/12 !

Vgl. Merksätze S. 60.

Lösung 3/13 !

zu a)

Unabhängige Variable:
- A Ofen a ist in Betrieb,
- B Ofen b ist in Betrieb,
- C Ofen c ist in Betrieb,
- D Ofen d ist in Betrieb.

Abhängige Variable:
- V_a Schaltanlage für Ofen a verriegelt,
- V_b Schaltanlage für Ofen b verriegelt,
- V_c Schaltanlage für Ofen c verriegelt,
- V_d Schaltanlage für Ofen d verriegelt,
- P Alarm ist ausgelöst.

zu b)

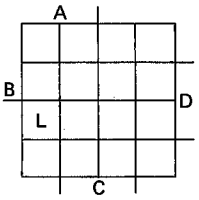
A	B	C	D	
0	0	0	0	
0	0	0	L	
0	0	L	0	
0	0	L	L	→ Ofen a verriegeln
0	L	0	0	→ Ofen a verriegeln
0	L	0	L	→ Ofen a verriegeln
0	L	L	0	→ Ofen a verriegeln
0	L	L	L	→ Ofen a verriegeln
L	0	0	0	→ Ofen b verriegeln
L	0	0	L	→ Öfen b und c verriegeln
L	0	L	0	→ Öfen b und d verriegeln
L	0	L	L	→ Alarm
L	L	0	0	→ Alarm
L	L	0	L	→ Alarm
L	L	L	0	→ Alarm
L	L	L	L	→ Alarm

zu c)

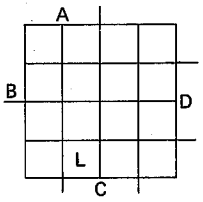
A	B	C	D	V_a	V_b	V_c	V_d	P
0	0	0	0					
0	0	0	L					
0	0	L	0					
0	0	L	L	L				
0	L	0	0	L				
0	L	0	L	L				
0	L	L	0	L				
0	L	L	L	L				
L	0	0	0		L			
L	0	0	L		L	L		
L	0	L	0		L		L	
L	0	L	L					L
L	L	0	0					L
L	L	0	L					L
L	L	L	0					L
L	L	L	L					L

Anmerkung: Bei den abhängigen Variablen wurden Nullen nicht eingetragen.

zu d)

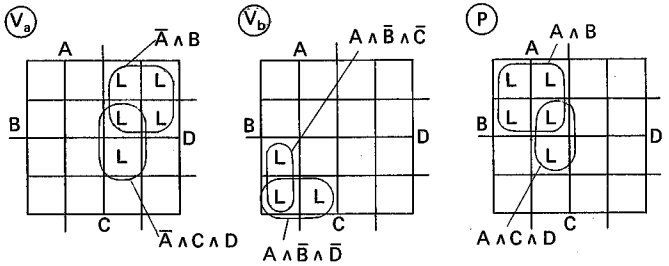


$V_c = A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C} \wedge D$



$V_d = A \wedge \overline{B} \wedge C \wedge \overline{D}$

zu e)



zu f)

$V_a = (\overline{A} \wedge B) \vee (\overline{A} \wedge C \wedge D) = \overline{A} \wedge (B \vee (C \wedge D))$.

$V_b = (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (A \wedge \overline{B} \wedge \overline{D}) = (A \wedge \overline{B}) \wedge (\overline{C} \vee \overline{D})$.

$P = (A \wedge B) \vee (A \wedge C \wedge D) = A \wedge (B \vee (C \wedge D))$.

zu g)

$Z_1 = A \wedge \overline{B}$ in V_c, V_d, V_b.

$Z_2 = B \vee (C \wedge D)$ in V_a und P.

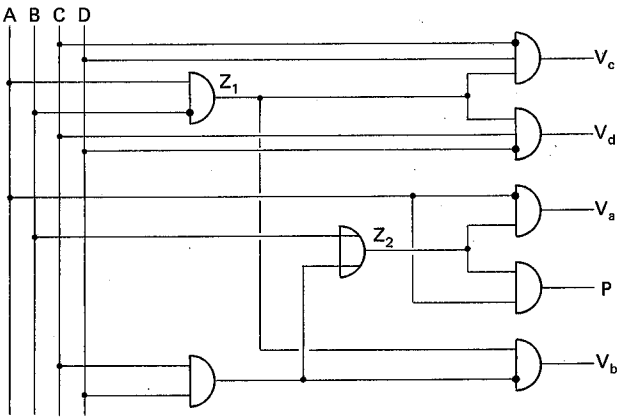
zu h)

$V_c = Z_1 \wedge (\overline{C} \wedge D)$; $V_d = Z_1 \wedge (C \wedge \overline{D})$.

$V_a = \overline{A} \wedge Z_2$. $P = A \wedge Z_2$.

$V_b = Z_1 \wedge (\overline{C} \vee \overline{D}) = Z_1 \wedge \overline{(C \wedge D)}$ (*De Morgan*).

zu i)



Kapitel 4

Lösung 4/1 !

zu a) Die Kontakte A, B und C dienen der Signaleingabe, die Lampe Z der Signalausgabe.

zu b) Die Werte der logischen Variablen *A*, *B*, *C* bei der Signaleingabe entsprechen folgenden Aussagen bzw. technischen Sachverhalten:

L ≙ Stromfluß bzw. Kontakt geschlossen,

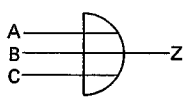
0 ≙ kein Stromfluß bzw. Kontakt geöffnet.

Entsprechend gilt für die Ausgangsvariable *Z*:

L ≙ Lampe hell (weil stromdurchflossen),

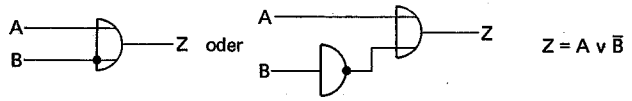
0 ≙ Lampe dunkel (weil nicht stromdurchflossen).

zu c) ODER-Verknüpfung



Lösung 4/2

zu a)



Die logischen Variablen werden an den Schaltungseingängen in folgender Weise repräsentiert:
L = Kontakt *betätigt*,
0 = Kontakt nicht betätigt.

Zu beachten ist hierbei, daß Kontakt A ein Schließer bzw. Arbeitskontakt und Kontakt B ein Öffner bzw. Ruhekontakt ist. Die Festlegung der Signale bezieht sich hier auf die Kontaktbetätigung (betätigt – nicht betätigt) und nicht auf die Kontaktgabe (geschlossen – geöffnet).

Die logischen Variablen am Schaltungsausgang werden so ausgedrückt:
L ≙ Lampe hell,
0 ≙ Lampe dunkel.

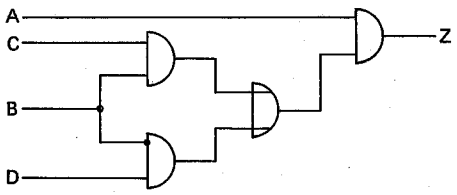
zu b) $X = \overline{A \vee \overline{B}}$.
Der Ausgang des ODER-Gatters in der Lösung von 4/2 a) erhält einen Negationspunkt.

Lösung 4/3

zu a) Eingangssignale sind positive Spannungen, die in den Relaiswicklungen A, B, C, D Stromflüsse hervorrufen. Ausgangssignal ist das Leuchten der Lampe Z.

zu b)

$$Z = A \wedge [(B \wedge C) \vee (\overline{B} \wedge D)]$$

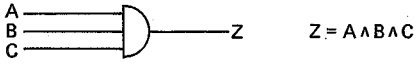


Lösung 4/4

L ≙ + 6 V. 0 ≙ – 6 V.

Lösung 4/5

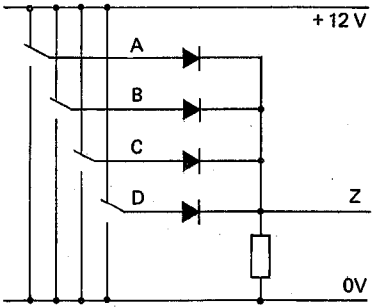
zu a)



zu b) Da die Durchlaßrichtung der Dioden in der Zeichnung zu Übung 4/5 a) von rechts nach links geht, kann die Spannung bei Z nicht höher sein als an irgendeiner der Stellen A, B, C. Ist auch nur eine von ihnen auf 0 V geschaltet, so muß sich auch bei Z ein Pegel von 0 V einstellen.

Lösung 4/6

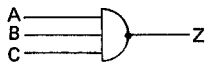
zu a)



zu b) Da die Durchlaßrichtung der Dioden in der Zeichnung zu Lösung 4/6 a) von links nach rechts geht, kann bei Z der Spannungspegel nicht niedriger sein als an irgendeiner der Stellen A, B, C, D. Sobald auch nur eine dieser Stellen auf 12 V liegt, gilt das gleiche für Z. Das entspricht der ODER-Funktion: Sobald auch nur an einem Eingang L anliegt, ergibt sich L am Ausgang.

Lösung 4/7

zu a)



NAND-Glied

zu b) *A*: + 12 V; *B*: 0 V; C: + 12 V; *X*: 0 V; *Z*: + 12 V.

zu c) Wenn auch noch Eingang B auf + 12 V geschaltet wird, stellt sich bei X ebenfalls + 12 V ein; der Transistor öffnet daher, d. h. seine Kollektor-Emitter-Strecke wird so gut leitend, daß der Ausgang Z quasi auf 0 V kurzgeschlossen wird. Die Betriebsspannung von 12 V fällt fast vollständig an Widerstand R_C ab.

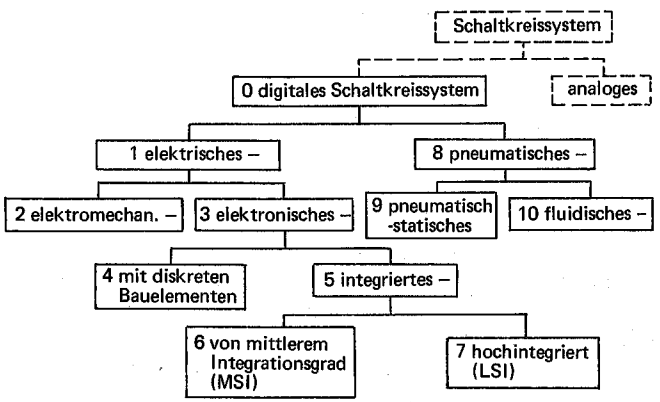
zu d) Die Dioden bewirken eine UND-Funktion. An der Stelle X liegt nur dann + 12 V ≙ L, wenn sämtliche Eingänge A, B, C den Pegel + 12 V ≙ L führen. Der Transistor kehrt den Signalpegel von X um, wirkt also negierend.

Lösung 4/8

Da schon acht Eingänge mit dem Eingangslastfaktor 1 angeschlossen sind, dürfen nur noch zwei weitere solcher Eingänge angeschlossen werden.

Lösung 4/9

zu a)



zu b)

0. Schaltkreissystem, das *digitale Signale* verarbeitet.
1. Die *Signale* werden durch *elektrische Größen* (Spannungen, Ströme, Magnetisierungen) dargestellt.
2. Die *logischen Funktionen* werden mittels *elektromechanischer Schalter* (Relais, Schütz) realisiert.
3. Die logischen Funktionen werden kontaktlos mittels *elektronischer Bauelemente bzw. elektronischer Funktionen,* nämlich Dioden, Transistoren, Widerständen usw. realisiert.
4. Zur Realisierung der logischen Funktionen werden die elektronischen Bauelemente als *Einzelstücke* auf Schaltkarten montiert.
5. Elektronische Bauelemente im Sinne von 4. sind nicht mehr vorhanden. *Mehrere elektronische Funktionen* (Diodenfunktion, Leitungsfunktion, Transistorfunktion usw.) werden von verschiedenen Teilen des jeweils *gleichen Kristallplättchens* (Chip) wahrgenommen.
6. Die Anzahl der elektronischen Funktionen je Kristallplättchen bzw. Chip liegt in der *Größenordnung 10 bis 100.*
7. Die Anzahl der elektronischen Funktionen je Kristallplättchen bzw. Chip liegt in der *Größenordnung 1 000 bis 10 000.*
8. Die *Signale* werden durch *pneumatische Größen* (Luftströmung, Luftdruck) dargestellt.
9. Die logischen Funktionen bzw. die Beeinflussung der Strömung werden durch *mechanisch bewegliche Teile* (z. B. pneumatisch gesteuerte Ventile) realisiert.
10. Zur Realisierung der logischen Funktionen wird die unmittelbare wechselseitige Beeinflussung von Luftströmen benutzt; *mechanisch bewegliche Teile* sind *nicht vorhanden.*

Lösung 4/10

zu a) Richtig für elektromechanische und pneumatische, nicht richtig für elektronische Schaltkreissysteme.

zu b) Nicht richtig für integrierte elektronische Schaltkreissysteme, richtig für alle anderen.

zu c) Nur für elektronische und fluidische Schaltkreissysteme in vollem Umfange zutreffend.

zu d) Es handelt sich um ein hochintegriertes elektronisches Schaltkreissystem.

zu e) Nur richtig für integrierte elektronische Schaltkreissysteme.

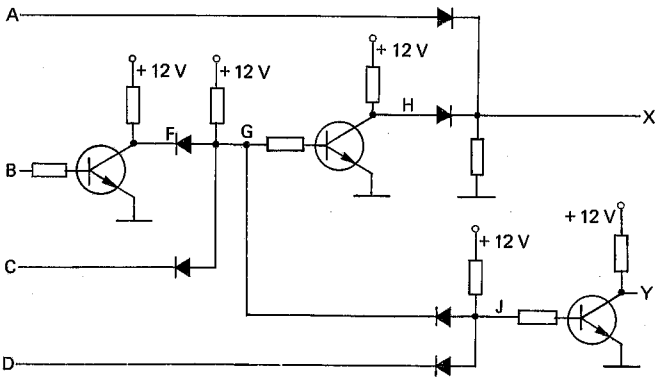
zu f) Richtig für elektromechanische Schaltkreissysteme.

Lösung 4/11

Betriebsspannung, Leistungsaufnahme je Element, Schaltgeschwindigkeit (Zeitdauer des Übergangs von 0 auf L), Anschlußlastfaktoren, Packungsdichte bzw. Raumbedarf.

Lösung 4/12

zu a)



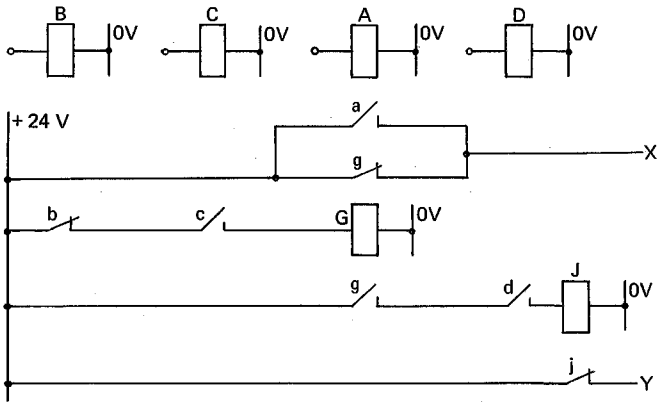
zu b) $F = \overline{B}$, $G = C \wedge F$, $H = \overline{G}$, $X = A \vee H$, $J = D \wedge G$, $Y = \overline{J}$.

zu c) $F = L$, $G = L$, $H = 0$, $X = L$, $J = 0$, $Y = L$.

zu d)

- Der Transistor hinter dem Eingang B ist gesperrt bzw. hat einen fast unendlichen Kollektor-Emitter-Widerstand. *Bei F stellt sich also ca. + 12 V ein.*
- Vor beiden Dioden links von G liegt + 12 V, also ist auch *bei G der Pegel + 12 V.*
- Der auf G folgende Transistor öffnet infolgedessen bzw. hat Kollektor-Ermitter-Widerstand fast gleich 0. *H ist daher auf Masse kurzgeschlossen bzw. hat 0 V.*
- *A* hat + 12 V. Da die hinter *A* liegende Diode von links nach rechts einen Kurzschluß darstellt bzw. den Widerstand 0 hat, muß sich auch *bei X + 12 V einstellen.* Die Diode zwischen X und H sperrt; von rechts nach links hat sie einen fast unendlichen Widerstand. Daher kann sich der *H*-Pegel von 0 V nicht auf *X* auswirken.
- Da die Durchlaßrichtung der beiden Dioden bei J von rechts nach links geht, kann der Pegel bei J zwar niedriger, auf keinen Fall aber höher als bei D oder G liegen. Auf der linken Seite der beiden Dioden bei J liegen von G her + 12 V und von D her 0 V. Daher stellt sich auch *bei J ein Pegel von 0 V ein.*
- Infolge des Pegels von 0 V bei J sperrt der Transistor ganz rechts bzw. hat einen fast unendlich hohen Kollektor-Emitter-Widerstand. Folglich stellt sich bei *Y ein Pegel von + 12 V* ein.

zu e)



zu f)

- Der Öffner b bleibt geschlossen, da *Relais B stromlos.*
- Der Schließer c schließt, da *Relais C Strom führt.*
- Relais *G führt also ebenfalls Strom.*
- Infolgedessen öffnet sich der Öffner g während der Schließer g schließt.
- Relais A führt Strom, also ist Schließer a geschlossen.
- Folglich *führt Ausgang X Spannung.*
- Schließer g ist, wie bereits festgestellt, geschlossen, nicht so Schließer d, da Relais D keinen Strom führt.
- Folglich ist *Relais J stromlos.*
- Also bleibt Öffner j geschlossen.
- Infolgedessen *führt Y positive Spannung.*

zu g) Es entsprechen sich:

Übung 4/12 c ,	Übung 4/12 d,	Übung 4/12 f,
logischer Wert 0	Spannung 0 V	Spannung 0 V bzw. stromloses Relais
logischer Wert L	Spannung + 12 V	positive Spannung bzw. stromführendes Relais

Kapitel 5

Lösung 5/1

Die vervollständigten Funktionstabellen der Tabelle 5/1 lauten:

A	B	A B → Z
0	0	0
0	L	0
L	0	0
L	L	L

A	B	A B → Z
0	0	0
0	L	L
L	0	L
L	L	L

A	A → Z
0	L
L	0

A	B	A ∧ B	A B → Z
0	0	0	L
0	L	0	L
L	0	0	L
L	L	L	0

A	B	A ∨ B	A B → Z
0	0	0	L
0	L	L	0
L	0	L	0
L	L	L	0

Lösung 5/2

„Ich fahre *nicht* in Urlaub, wenn ich im Betrieb *nicht* freibekomme *oder* wenn ich *nicht* genügend Geld habe."

Lösung 5/3

zu a) $Z = \overline{A \vee \overline{B} \vee \overline{C}}$.

zu b) $Z = \overline{\overline{A} \wedge B \wedge \overline{C} \wedge D}$.

zu c) $Z = A \wedge \overline{B}$.

zu d) $Z = (\overline{\overline{A} \vee \overline{B}}) \vee \overline{C}$ → Klammer umgewandelt

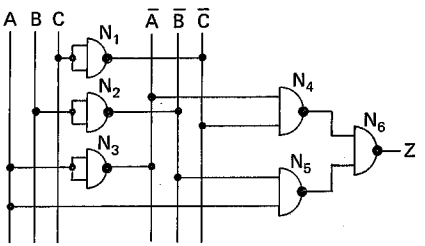
$Z = \overline{\overline{\overline{A} \vee \overline{B}} \wedge C}$ → Klammer wie *eine* Variable betrachtet

$Z = (\overline{\overline{A} \vee \overline{B}}) \wedge C$.

Lösung 5/4

Der Logik-Schaltung entnehmen wir die Funktion:
$Z = (\overline{\overline{A} \vee B}) \vee (\overline{A \vee C})$. Nach Umwandlung:
$Z = U \vee V$, $Z = \overline{\overline{U} \wedge \overline{V}}$.
$U = \overline{\overline{A} \vee B}$, $U = A \wedge \overline{B}$.
$V = \overline{A \vee C}$, $V = \overline{A} \wedge \overline{C}$.
$Z = \overline{\overline{(A \wedge \overline{B})} \wedge \overline{(\overline{A} \wedge \overline{C})}}$.

Logik-Schaltung:



Lösung 5/5

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$A \wedge \bar{B}$	$\bar{A} \wedge B$	$Z = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$
0	0	L	L	0	0	0
0	L	L	0	0	L	L
L	0	0	L	L	0	L
L	L	0	0	0	0	0

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$A \wedge \bar{B}$	$\bar{A} \wedge B$	$\overline{A \wedge \bar{B}}$	$\overline{\bar{A} \wedge B}$	$\overline{A \wedge \bar{B}} \wedge \overline{\bar{A} \wedge B}$	$Z = \overline{\overline{A \wedge \bar{B}} \wedge \overline{\bar{A} \wedge B}}$
0	0	L	L	0	0	L	L	L	0
0	L	L	0	0	L	L	0	0	L
L	0	0	L	L	0	0	L	0	L
L	L	0	0	0	0	L	L	L	0

Lösung 5/6

Bild 5/24 gibt eine Äquivalenz-Schaltung wieder.

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\overline{A \wedge \bar{B}}$	$\overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}$	$Z = \overline{\overline{A \wedge \bar{B}} \wedge \overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}}$
0	0	L	L	L	0	L
0	L	L	0	L	L	0
L	0	0	L	L	L	0
L	L	0	0	0	L	L

Bild 5/25 gibt eine Äquivalenz-Schaltung wieder.

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\overline{A \vee \bar{B}}$	$\overline{\bar{A} \vee B}$	$Z = \overline{\overline{A \vee \bar{B}} \vee \overline{\bar{A} \vee B}}$
0	0	L	L	0	0	L
0	L	L	0	0	L	0
L	0	0	L	L	0	0
L	L	0	0	0	0	L

Lösung 5/7

Die ergänzte Tabelle 5/10 zu Bild 5/26:

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\overline{A \wedge \bar{B}}$	$\overline{\bar{A} \wedge B}$	$Z = \overline{\overline{A \wedge \bar{B}} \wedge \overline{\bar{A} \wedge B}}$
0	0	L	L	L	L	L
0	L	L	0	L	0	0
L	0	0	L	0	L	0
L	L	0	0	L	L	L

Die ergänzte Tabelle 5/11 zu Bild 5/27:

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\overline{A \vee B}$	$\overline{\bar{A} \vee \bar{B}}$	$Z = \overline{\overline{A \vee B} \vee \overline{\bar{A} \vee \bar{B}}}$
0	0	L	L	L	0	L
0	L	L	0	0	0	0
L	0	0	L	0	0	0
L	L	0	0	0	L	L

Die ergänzte Tabelle 5/12 zu Bild 5/28:

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{\overline{A} \vee B}$	$\overline{A \vee \overline{B}}$	$Z = \overline{\overline{\overline{\overline{A} \vee B} \vee A \vee \overline{B}}}$
0	0	L	L	0	0	0
0	L	L	0	0	L	L
L	0	0	L	L	0	L
L	L	0	0	0	0	0

Die ergänzte Tabelle 5/13 zu Bild 5/29:

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A \wedge B}$	$\overline{\overline{A} \wedge \overline{B}}$	$Z = \overline{\overline{A \wedge B} \wedge \overline{\overline{A} \wedge \overline{B}}}$
0	0	L	L	L	0	0
0	L	L	0	L	L	L
L	0	0	L	L	L	L
L	L	0	0	0	L	0

Die ergänzte Tabelle 5/14 zu Bild 5/30:

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{\overline{A} \vee \overline{B}}$	$\overline{A \vee B}$	$Z = \overline{\overline{\overline{A} \vee \overline{B}} \vee A \vee B}$
0	0	L	L	0	L	0
0	L	L	0	0	0	L
L	0	0	L	0	0	L
L	L	0	0	L	0	0

Die ergänzte Tabelle 5/15 zu Bild 5/31:

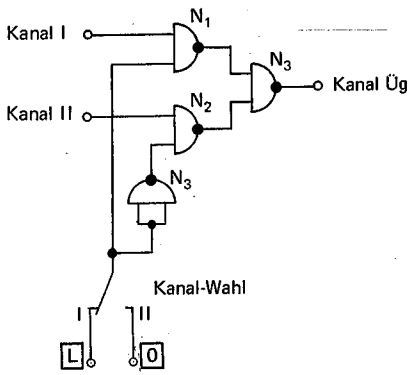
A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A \wedge \overline{B}}$	$\overline{\overline{A} \wedge B}$	$Z = \overline{\overline{A \wedge \overline{B}} \wedge \overline{\overline{A} \wedge B}}$
0	0	L	L	L	L	0
0	L	L	0	L	0	L
L	0	0	L	0	L	L
L	L	0	0	L	L	0

Lösung 5/8

Die abhängige Variable Z_1 führt nur dann L-Signal, wenn A kleiner ist als B, mathematisch ausgedrückt:
$Z_1 \Rightarrow A < B$.
Z_2 führt L-Signal, wenn A größer als B:
$Z_2 \Rightarrow A > B$.
Z_3 führt L-Signal, wenn A gleich B ist:
$Z_3 \Rightarrow A = B$.

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	N_1	N_2	N_3	Z_1	Z_2	Z_3
0	0	L	L	L	L	0	0	0	L
0	L	L	0	0	L	L	L	0	0
L	0	0	L	L	0	L	0	L	0
L	L	0	0	L	L	0	0	0	L

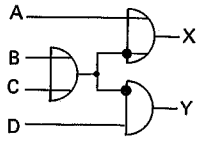
Lösung 5/9



Lösung 5/10

zu a)
$X = C \vee E,\ E = \overline{A \wedge B}$.
$X = C \vee \overline{A \wedge B}$.
$Y = C \vee \overline{F},\ F = A \wedge B$.
$Y = C \vee \overline{A \wedge B}$.
Beide Logikpläne stellen die gleiche logische Funktion dar.

zu b)



Dieser Logikplan realisiert die gleichen Funktionen wie der in der Aufgabenstellung (Übung 5/10 b), nämlich
$X = A \vee \overline{B \vee C}$, $Y = D \wedge \overline{B \vee C}$.

Man beachte, daß sich der Negationspunkt an der Verzweigungsstelle gewissermaßen verdoppelt hat und längs jedem der beiden Teilwege weitergelaufen ist.

zu c) *Leitungsritt:* Die Funktion eines Logikplans ändert sich nicht, wenn man einen *Negationspunkt* auf einer *Informationsleitung* von einem Gatterausgang auf *sämtliche* nachfolgenden Eingänge verschiebt.

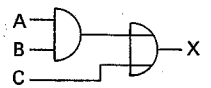
Lösung 5/11

zu a)
$X = Q$. Begründung: $X = \overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B} = Q$
$Y = R$. Begründung: $Y = \overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B} = R$ nach *De Morgan.*

zu b) *Gattersturz:* Liegt auf dem Ausgang eines Gatters ein *Negationspunkt,* so kann man ihn durch *je einen* solchen auf *sämtlichen* Eingängen ersetzen, wenn man gleichzeitig das Gatter stürzt, d. h. *UND* gegen *ODER* bzw. umgekehrt vertauscht. Die logische Funktion bleibt dabei dieselbe.

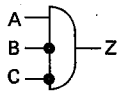
Lösung 5/12

zu a) $X = C \vee \overline{E}$, $E = \overline{A \wedge B}$, $\overline{E} = \overline{\overline{A \wedge B}} = A \wedge B$,
$X = C \vee (A \wedge B)$. Das entspricht folgender Schaltung:



Beim Zusammentreffen auf Grund des *Leitungsrittes* haben sich die beiden Negationspunkte gegenseitig aufgehoben.

zu b) $Z = \overline{\overline{A \vee B \vee C}} = \overline{\overline{A} \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}} = A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}$ (*De Morgan*).

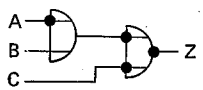


Auf Grund der Regel vom Gattersturz wird der Negationspunkt vom Ausgang als je ein neuer Negationspunkt jedem der drei Eingänge aufgelegt. Beim Eingang A treffen zwei Negationspunkte zusammen, die sich gegenseitig aufheben. Beim Sturz wird aus ODER ein UND.

zu c) *Todespaar:* Treffen zwei *Negationspunkte* auf Grund eines Leitungsrittes oder eines Gattersturzes zusammen, so *heben sie sich gegenseitig auf.*

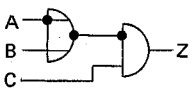
Lösung 5/13

zu a) Paargeburt am Ausgang des rechten Gatters mit anschliessendem Gattersturz ergibt folgende Schaltung:

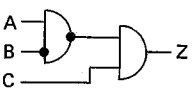


zu b) Die Paargeburt am Ausgang des linken Gatters kann sowohl mit Leitungsritt als auch mit Gattersturz kombiniert werden. Man erhält:

Paargeburt mit anschließendem Leitungsritt



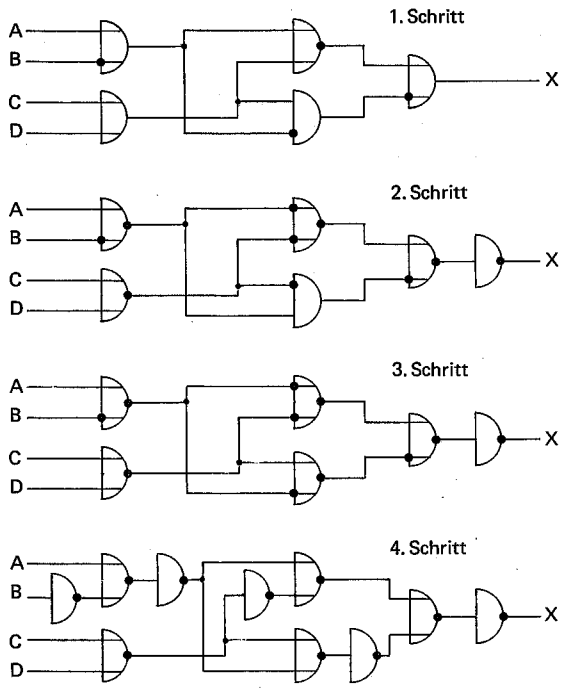
Paargeburt mit anschließendem Gattersturz



Lösung 5/14

Systematische Umstellung auf NOR.

Man erhält der Reihe nach folgende Logikpläne, die jeweils die gleiche logische Funktion *X* darstellen:



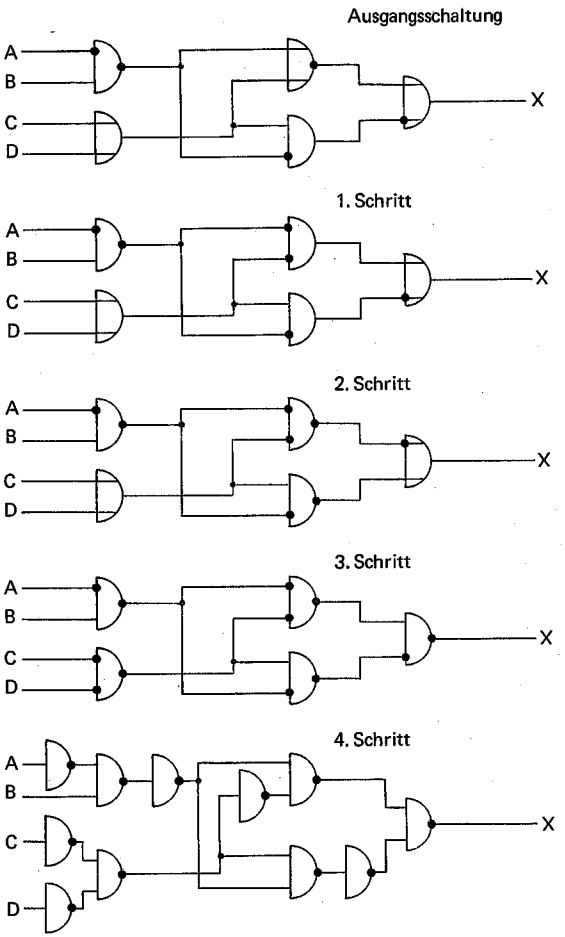
Lösung 5/15

Systematische Umstellung auf NAND.

1. Alle NOR werden einem Gattersturz unterzogen.
2. An allen UND-Stufen – einschließlich der früheren NOR – wird eine Paargeburt mit Leitungsritt ausgeführt. Sollte dabei ein Negationspunkt an einen Ausgang der Gesamtschaltung gelangen, wird dort eine Negatorstufe angefügt.
3. An allen ODER-Stufen wird eine Paargeburt mit Gattersturz ausgeführt.
4. An allen negierten Eingängen von NAND-Gliedern wird eine Negatorstufe vorgeschaltet.

Lösung 5/16

Systematische Umstellung auf NAND.



Lösung 5/17

zu a) Weil man jede der drei logischen Grundverknüpfungen – Negation, UND, ODER – jeweils unter ausschließlicher Verwendung von NOR oder unter ausschließlicher Verwendung von NAND formulieren kann.

zu b) Doppelte Negation: $\overline{\overline{A}} = A$.
De Morgansche Formeln: $\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B}$, $\overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$.

zu c) Bei Diodenschaltungen muß fast der gesamte Ausgangsstrom über die Eingänge zur Verfügung gestellt werden. Sie sind daher nur sehr begrenzt hintereinander und verzweigt schaltbar.

Bei NOR- und NAND-Schaltungen wird demgegenüber die Ausgangslast ganz überwiegend von den Versorgungsspannungen her abgedeckt. Sie sind insbesondere ohne Einschränkung hintereinander schaltbar, ohne daß zwischendurch Verstärker zur Signalregenerierung notwendig sind.

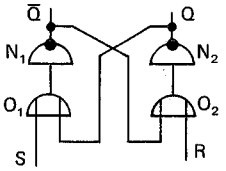
zu d) ODER-Glieder können bleiben, der 2. Schritt entfällt also.

Kapitel 6

Lösung 6/1

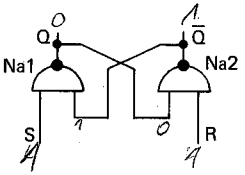
- Information aufnehmen,
- Information aufbewahren,
- Information abgeben.

Lösung 6/2

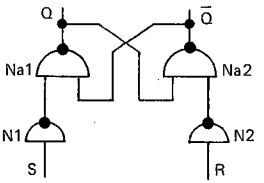


Lösung 6/3

Zu a)

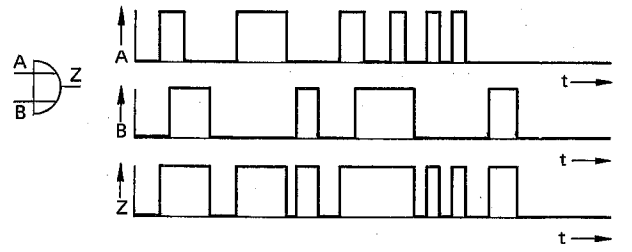


Zu b) Im Grundzustand müssen die Eingänge S und R auf dem L-Signal liegen, da im anderen Falle keine der beiden „UND-Bedingungen" erfüllt wäre. Durch Unsymmetrien innerhalb der Schaltung schaltet eine NAND-Stufe schneller als die andere durch, so daß sich z.B. $Q = 0$ und $\overline{Q} = L$ ergeben. In Verbindung mit den L-Signalen an den Eingängen S und R wird der Grundzustand gehalten.
Die Speicherschaltung kann über 0-Signale umgesteuert werden. Im Falle $Q = 0$ und $\overline{Q} = L$ wird der Speicher mit $S = 0$ gesetzt. Soll diese aus zwei NAND-Gliedern aufgebaute Speicherschaltung mit L-Signalen umgesteuert werden, so muß man jedem Eingang eine Negation vorschalten.

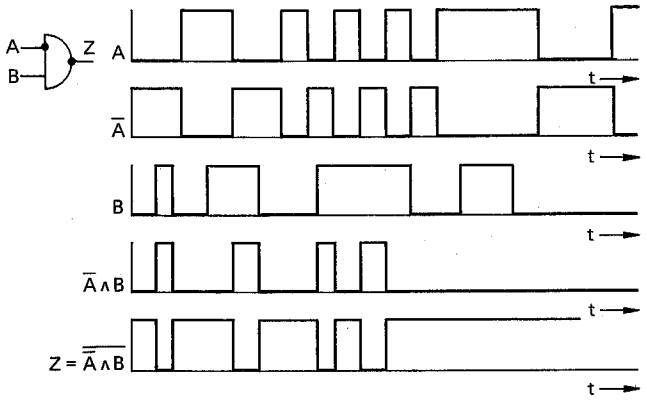


Lösung 6/4

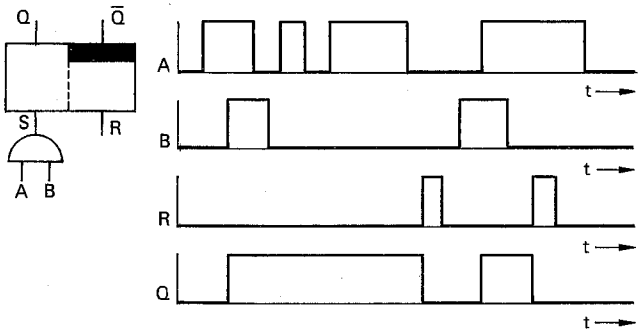
Zu a)



Zu b)



Zu c)



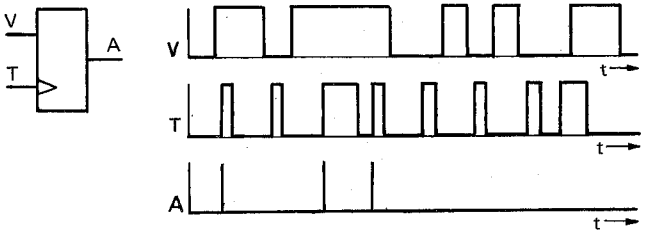
Lösung 6/5

Zu a) Die Eingang-Signal-Kombination $S = 0$, $R = 0$ ist unzulässig, da in diesem Fall Q = L und $\overline{Q}$ = L werden.

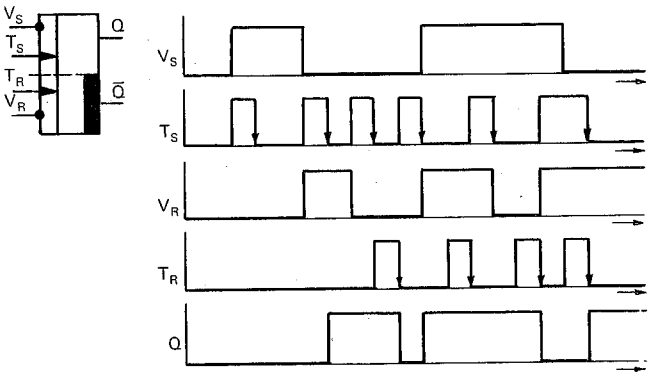
Zu b)
Beachten Sie, daß der 2-NAND-Glieder-Speicher mit 0-Signalen angesteuert wird!

S	R	$Q_{t_{n+1}}$
0	0	*
0	L	L
L	0	0
L	L	Q_{t_n}

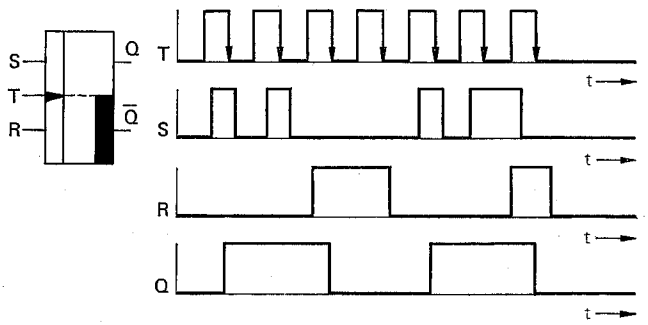
Lösung 6/6



Lösung 6/7



Lösung 6/8



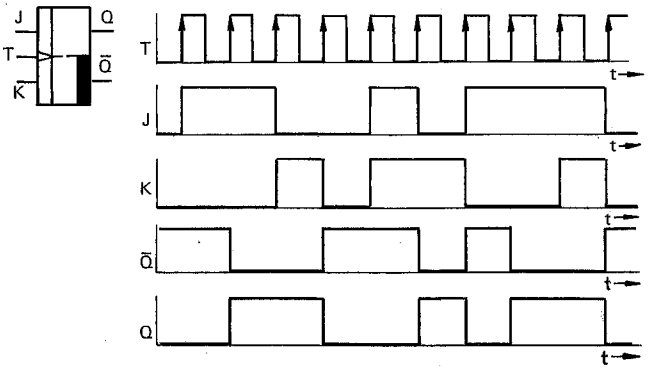
Lösung 6/9

Während beim JK-Flip-Flop alle Vorbereitungs-Signal-Kombinationen erlaubt sind, ist beim dynamisch angesteuerten RS-Flip-Flop die Vorbereitungs-Signal-Kombination R = L und S = L (Typ 0-L-gesteuert) in ihrer Wirkung nicht definiert.

Lösung 6/10

Zu a) Bei statischer Ansteuerung könnte die Signal-Kombination $J = K$ = L nicht sinnvoll genutzt werden, da es nicht gelingt, zwei Signale exakt zur gleichen Zeit auf L oder auf 0 zu setzen. Würde z. B. J etwas länger als K auf L stehen, so würde das zum Setzen führen.

Zu b)



Lösung 6/11

Mit dem nächstfolgenden 0-L-Signalwechsel auf der Taktleitung T werden $Q_1 = 0$ und Q_2 = L.

Lösung 6/12

Es muß vermieden werden, daß dieselbe Information bei einer Taktung über mehr als ein Flip-Flop hinaus weiterläuft. Sonst würde Information zerstört werden.

Lösung 6/13

Die Vorgänge „Informationsübernahme" und „Informationsabgabe" müssen streng getrennt werden, da sonst die Gefahr besteht, daß die binär-codierte Information zerstört wird. Dies bedingt, daß jedes einzelne Register-Flip-Flop in der Lage sein muß, die Abgabe und die Aufnahme eines binären Signals zeitlich koordiniert zu vollziehen.

Lösung 6/14

Im Gegensatz zum dynamisch angesteuerten Flip-Flop werden bei dem Master-Slave-Flip-Flop mit statischem Zwischenspeicher keine besonderen Anforderungen an die Steilheit der Signalflanken gestellt.

Lösung 6/15

Da jeder der beiden JK-Flip-Flops die an seinem Eingang auftretende Eingangsfrequenz auf die Hälfte herabsetzt, wird ein Frequenzverhältnis von

$\frac{f_{Q_A}}{f_T} = \frac{1}{4}$ erzielt.

Lösung 6/16

Zu a) Die Schaltung erlaubt es, zwei Befehle gegeneinander abzusichern. In ihrer Ausgangslage befinden sich beide Flip-Flops in Ruhestellung: $Q_I = 0$, $Q_{II} = 0$. Tastet man nur S_I, so wird das Flip-Flop I gesetzt und die Lampe I leuchtet auf. Da der Zustand Q_I = L über die ODER-Stufe O_I auf den Rückstelleingang des Flip-Flops FF_{II} einwirkt, kann es nicht mehr zusätzlich zu FF_I gesetzt werden. Beachten Sie, daß bei einem aus zwei NOR-Gattern aufgebauten *RS*-Flip-Flop die Eingangs-Signal-Kombination R = L und S = L zu $Q = 0$, $\overline{Q} = 0$ führt. Dies ist zwar im allgemeinen nicht erlaubt, jedoch in unserem Falle ohne funktionelle Konsequenz für die Anlage.

Zu b) Die Schaltung entspricht im Grundprinzip der Schaltung in Bild 6/80. In dieser Schaltungsvariante wird durch die Steuerlogik die Signalpriorität auf die Rückstelleingänge der Flip-Flops gelegt. Im Gegensatz zur Schaltung in Bild 6/80 kann bei ihr niemals die Flip-Flop-Eingangs-Signal-Kombination S = L, R = L auftreten.

Zu c) In dieser Schaltung kann Flip-Flop II nur gesetzt werden, wenn Flip-Flop I vorher bereits gesetzt worden ist. Beide Flip-Flops werden über R_{I+II} wieder zurückgestellt.

Zu d) In dieser Schaltung kann Flip-Flop II nur gesetzt werden, wenn Flip-Flop I vorher bereits gesetzt worden ist. Flip-Flop I kann nur zurückgestellt werden, wenn Flip-Flop II bereits zurückgestellt wurde.

Zu e) Das Flip-Flop kann von vier verschiedenen Stellen aus durch Tastendruck sowohl ein- als auch ausgeschaltet werden. Mit jedem 0-L-Signalwechsel am dynamischen Flip-Flop-Eingang ändert der Speicher seinen Ausgangszustand.

Lösung 6/17

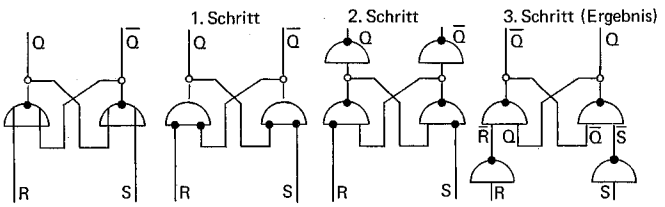
Zu a) 1. RS-Flip-Flop, 2. JK-Flip-Flop, 3. D-Flip-Flop, 4. DV-Flip-Flop, 5. TV-Flip-Flop.

Zu b) 1 und 2: Beim JK-Flip-Flop dürfen zwei vorbereitende Eingänge mit L beaufschlagt werden, was die Zustandsumkehrung vorbereitet, während diese Ansteuerung beim RS-Flip-Flop verboten ist.

Zu c) 3. und 4.: Beim D-Flip-Flop hat man nur einen vorbereitenden Eingang, über den durch L das Setzen und durch 0 das Rücksetzen vorbereitet wird. Beim DV-Flip-Flop kann der Eingang D durch 0-Signal auf einen zweiten Eingang V inhibiert, d. h. wirkungslos gemacht werden.

Zu d) 3. und 5.: Beim TV-Flip-Flop bedeutet L auf dem Eingang TV eine Umkehrvorbereitung und nicht eine Vorbereitung auf Setzen, während 0 keine Vorbereitung bewirkt.

Zu e)



Zu f) Vor dem linken Ausgang Q liegt in der vorletzten Schaltung ein Negator, vor diesem muß also $\overline{Q}$ liegen. Analoges gilt für den rechten Ausgang. (Beachten Sie die Umstellung der Ausgänge Q und $\overline{Q}$ in der letzten Entwicklungsstufe.)

Zu g) $\overline{S} = 0$, $Q = \overline{\overline{S} \wedge \overline{Q}} = \overline{0 \wedge \overline{Q}} = \overline{0} = L$,
$\overline{R} = L$, $\overline{Q} = \overline{\overline{R} \wedge Q} = \overline{L \wedge L} = \overline{L} = 0$.
Wenn S auf 0 zurückfällt, also $\overline{S}$ zu L wird, bleiben Q und $\overline{Q}$ stehen. Es gilt dann nämlich wegen $\overline{Q} = 0$:
$Q = \overline{\overline{S} \wedge \overline{Q}} = \overline{L \wedge 0} = \overline{0} = L$.
An allen anderen Stellen der Schaltung bleiben also die Signalpegel ungeändert.

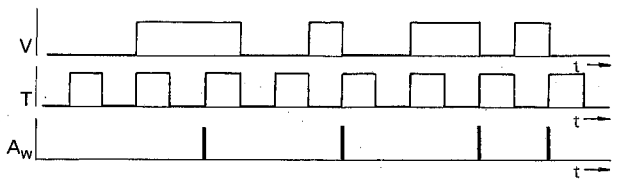
Zu h) Die dekadische Ziffernwalze wird von 0 auf 1, dann auf 2 usw. bis schließlich auf 9 fortgeschaltet. Sie durchläuft alle Ziffern des dekadischen Systems, wobei auf die letzte – nämlich 9 – wieder die erste – nämlich 0 folgt. Das gleiche tut ein Zähl-Flip-Flop hinsichtlich der Ziffern des dualen Systems.

Lösung 6/18

Zu a) Der Spitzenpegel von *A* hängt ab von der Dauer der Vorbereitung bzw. der Zeitspanne, die seit dem Rückfallen des Vorbereitungssignals vergangen ist. Dabei wird nach einer bestimmten Vorbereitungszeit ein Höchstwert erreicht, der auch durch noch längere Vorbereitung nicht mehr gesteigert werden kann.

Zu b) Die Mindestvorbereitungszeit ist gemäß dem vorgelegten Diagramm 75 % von τ. Das vorbereitende Signal darf nicht länger als 25 % der Zeitspanne τ abgefallen sein, wenn am Ausgang des Dynamikvorsatzes noch eine wirksame L erscheinen soll.

Zu c)



Lösung 6/19

a) Die Aussage ist falsch. So verhält sich ein ganz normales UND-Glied.

b) Die Aussage ist falsch. Man kann V und T gleichzeitig mit L beaufschlagen und diesen Zustand beliebig lange aufrechterhalten, ohne daß am Ausgang etwas geschieht. *V* muß eben vor *T* kommen.

c) Die Aussage ist richtig.

d) Die Aussage ist unklar ausgedrückt. Es muß nämlich das L vor dem Triggerzeitpunkt auf V liegen. Dieser Signalzustand kann, muß aber nicht nach der Triggerung fortbestehen.

Lösung 6/20

Synchronisation von Zählimpulsen.

Zu a) Um das *Y*-Signal zu erzeugen, benötigt man ein Flip-Flop, das durch Z = L auf L gesetzt wird, unabhängig von *Z* aber nach einer *T*-Periode wieder auf 0 zurückgestellt wird. Steht *Z* dann immer noch auf *L*, müßte auch *Y* wieder auf L gehen, sofern „man sich nicht gemerkt hat", daß das noch anstehende Z = L bereits in einen synchronisierten *Y*-Impuls umgesetzt ist.

Zu b) 1. Flip-Flop: Es generiert *Y*-Impulse, d.h. es wird durch Z = L
(Ausgang Q_1) gesetzt und eine Periode später unabhängig von *Z* rückgestellt.

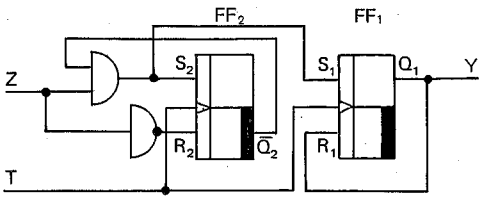
2. Flip-Flop: Es sperrt die Eingänge des 1.Flip-Flops sobald
(Ausgang Q_2) es gesetzt wurde und gibt sie erst wieder frei, wenn *Z* auf 0 zurückgegangen ist.

Zu c) Die Bedingungen lauten:

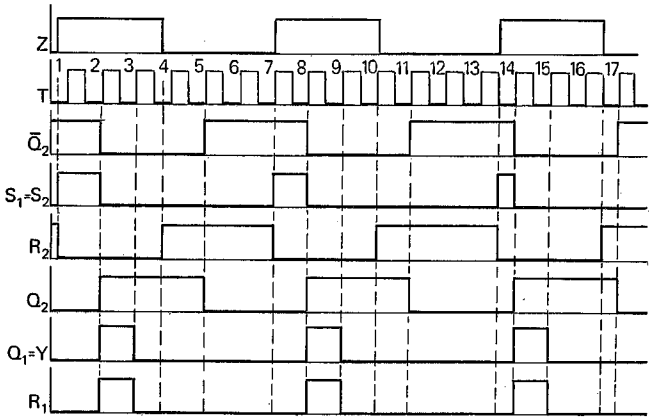
1. Flip-Flop: Setzen vorbereiten: Z = L und $Q_2 = 0$,
Rückstellen: Q_1 = L.
$S_1 = Z \wedge \overline{Q}_2$, $R_1 = Q_1$.

2. Flip-Flop: Setzen vorbereiten: zusammen mit 1. Flip-Flop,
Rückstellen: $Z = 0$.
$S_2 = Z \wedge \overline{Q}_2 = S_1$, $R_2 = \overline{Z}$.

Zu d)



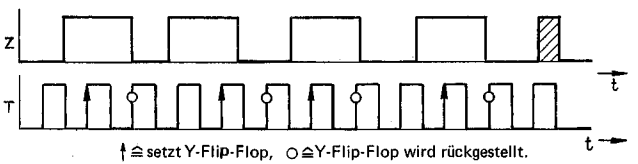
Zu 6/20 e)



Zu f) Setzend zur Wirkung kommen die folgenden *Y*-Flanken:
2: Verzögerung *Y* gegen *Z*: 1,25 · Taktperiode,
8: Verzögerung *Y* gegen *Z*: 0,8 · Taktperiode,
14: Verzögerung *Y* gegen *Z*: 0,5 · Taktperiode.

Zu g) Wenn die *Z*-Impulse länger würden, wäre das unkritisch, da die Schaltung sich selbst sperrt, bis *Z* wieder zu null geworden ist. Kritisch werden könnte es höchstens, wenn die *Z*-Impulse so kurz würden, daß sie „zwischen zwei *T*-Impulse fallen" könnten.

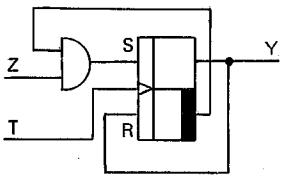
Zu h)



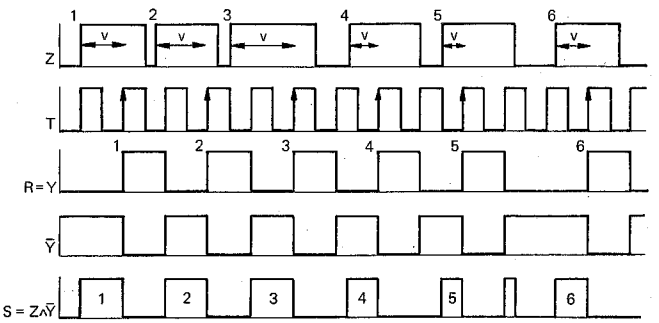
Wenn die Vorbereitung für eine bestimmte Triggerung bei einem 3/2-Perioden-Impuls nicht mehr ganz reicht, so bewirkt er sicher die nächste Triggerung. Der schraffierte *Z*-Impuls würde keinen *Y*-Impuls auslösen.

Zu i) In der bisherigen Schaltung mußte $\bar{Q}_2$ sichern, daß der gleiche *Z*-Impuls nicht mehr als einen *Y*-Impuls auslöst. Nun hat aber ein *Y*-Impuls die Dauer einer *T*-Periode. Erst die zweite auf die auslösende *T*-Flanke folgende könnte *Y* wieder setzen.

Da der *Z*-Impuls bereits vor der ersten Auslösung zur Vorbereitung anliegen mußte, kann er wegen seiner Kürze – von 3/2 T-Perioden – zwei *T*-Perioden später nicht noch einmal vorbereitet haben.

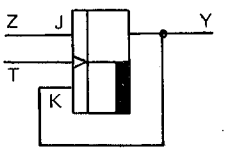


Zu j)



Zu k) Ein Zählvorgang benötigt für *Y* = L und *Y* = 0 jeweils eine *T*-Periode. Also darf *Z* höchstens die halbe *T*-Frequenz haben, bzw. zwei positive *Z*-Flanken müssen im Mittel mindestens zwei *T*-Perioden Abstand haben.

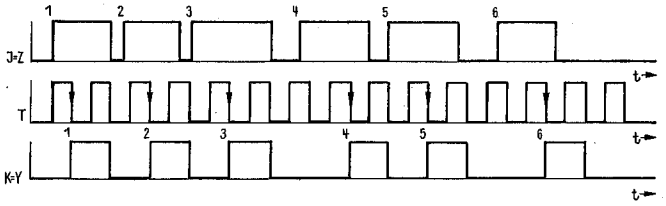
Zu l)



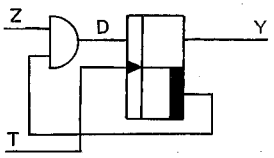
Das UND-Glied vor dem S-Eingang in der Lösung von Übung 6/20 i) hat nur die Aufgabe, das verbotene gleichzeitige Ansteuern von R und S bei der Vorbereitung des Rückstellens zu vermeiden. Bei gesetztem *Y* und noch anstehendem *Z* wird das JK-Flip-Flop auf die Umkehrung, also auf das Rückstellen, vorbereitet. Sollte *Z* nicht mehr anstehen, wird das Rückstellen unmittelbar vorbereitet.

Zu 6/20 m) Man könnte vor den T-Eingang einen Negator schalten, um genau das gleiche Verhalten zu erzielen. Da die *Z*-Impulse aber ohnehin gegenüber *T* asynchron anfallen, könnte man auch dieselbe Schaltung mit einem negativ triggernden JK-Flip-Flop beibehalten. Dann würden eben fallende *T*-Flanken die *Y*-Impulse setzen und rückstellen.

Zu n)

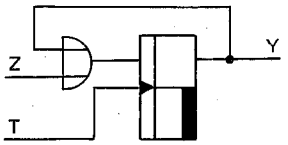


Zu o)



Y wird gesetzt, wenn Z = L und $\overline{Y}$ = L ist. Sobald *Y* gesetzt ist, wird $D = 0$. Am Ende eines Taktes mit Y = L wird also rückgestellt.

Zu p)

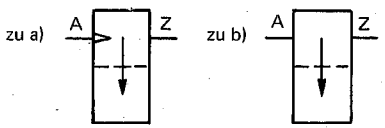


Steht *Y* auf 0 und *Z* auf 0, so erfolgt keine Vorbereitung; Triggerung bleibt wirkungslos. Geht *Z* auf L, so wird Umkehrung, d.h. Setzen vorbereitet und bei nächster fallender *T*-Flanke ausgelöst. Steht *Y* auf L, so wird Umkehrung, d.h. Rückstellen, vorbereitet und bei nächster negativer Triggerung ausgelöst.

Kapitel 7

Lösung 7/1 !

Die Signal-Zeit-Pläne gelten für die untenstehenden Monoflops.



Monoflop mit dynamischer Ansteuerung durch 0-L-Signalwechsel (nicht nachtriggerbar)

Monoflop mit statischer Ansteuerung

Lösung 7/2 !

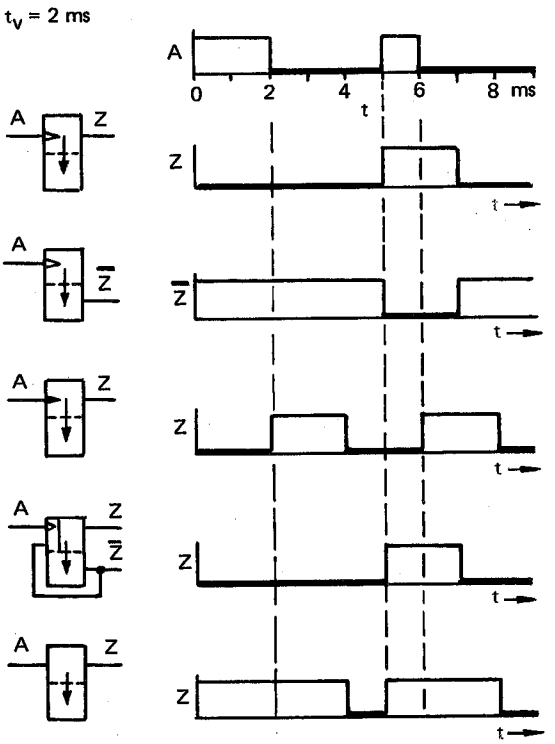
Monoflop MF_1 schaltet nur dann in die Arbeitsstellung, wenn am Eingang A ein Signalwechsel von 0 nach L erfolgt. Monoflop MF_2 hingegen schaltet nur in die Arbeitsstellung, wenn am Eingang A ein Signalwechsel von L nach 0 erfolgt.

Lösung 7/3

Nein. Bei diesem Monoflop-Typ mit dynamischem Eingang wird das Kippen in den Arbeitszustand nur durch einen Signalwechsel am Eingang ausgelöst. Nach der Verweilzeit t_v kippt das Monoflop in den Ruhezustand zurück, auch wenn noch L-Signal am Eingang stehen sollte.

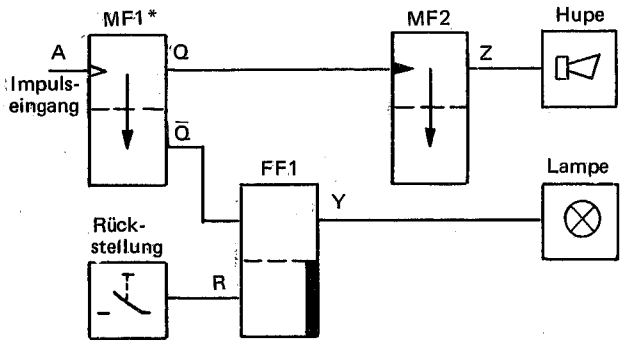
Lösung 7/4

So müssen die Ergänzungen in den Signal-Zeit-Plänen aussehen:



Lösung 7/5

Impulslücken-Kontrollschaltung:



* nachtriggerbar

Lösung 7/6

Zu a) Aus dem Signal-Zeit-Plan in Bild 7/14 ist ersichtlich, daß die Periodendauer $T = t_i + t_p = 1\text{ ms} + 1\text{ ms} = 2\text{ ms}$ ist. Die Impulslänge ist hier so groß wie die Impulspause.

Zu b) Die Anfangsfrequenz ist $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\text{ms}} = 0{,}5\text{ kHz} = 500\text{ Hz}$.

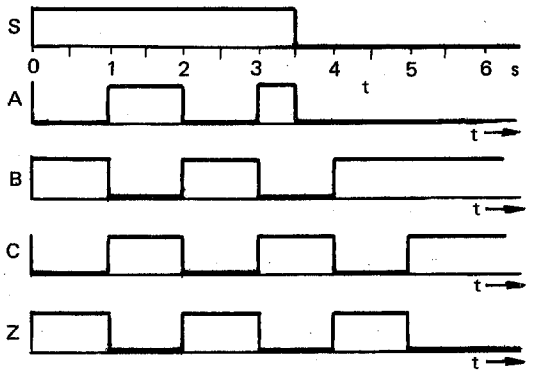
Zu c) Wenn bei einer fortlaufenden Erhöhung der Impulsfrequenz die Impulsdauer der einzelnen Impulse kleiner als die Verweilzeit des Monoflops MF1 (t_v = 0,5 ms) wird, beginnen sich die Impulszeiten in den Diagrammen A und B zu überlappen, d.h. für das UND-Glied in der Schaltung wird die UND-Bedingung erfüllt, und an seinem Ausgang Y erscheint für diese Überlappungszeiten L-Signal, was zur Signalanzeige führt.

Nach dem Zeitmaßstab im Signal-Zeit-Plan ergibt sich, daß das Überlappen der Impulse in den Diagrammen A und B beginnt, wenn die Impulsdauer von 0,5 ms (=Verweilzeit t_v = 0,5 ms) unterschritten wird. Bei der Impulsdauer t_i = 0,5 ms ist die Periodendauer – wenn $t_i = t_p$ vorausgesetzt wird – $T = t_i + t_p$ = 0,5 ms + 0,5 ms = 1 ms. Daraus errechnet sich eine Impulsfrequenz $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1\text{ ms}} = 1\text{ kHz} = 1000\text{ Hz}$.

Ergebnis: Beim Überschreiten der Impulsgrenzfrequenz f_g = 1 kHz gibt die Schaltung in Bild 7/14 Alarm; die Lampe leuchtet auf.

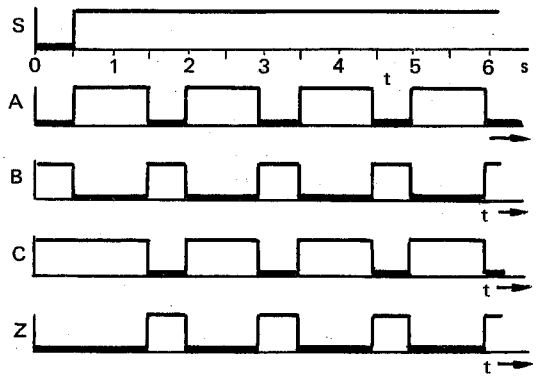
Lösung 7/7

Der Signal-Zeit-Plan müßte in folgender Weise ergänzt werden:



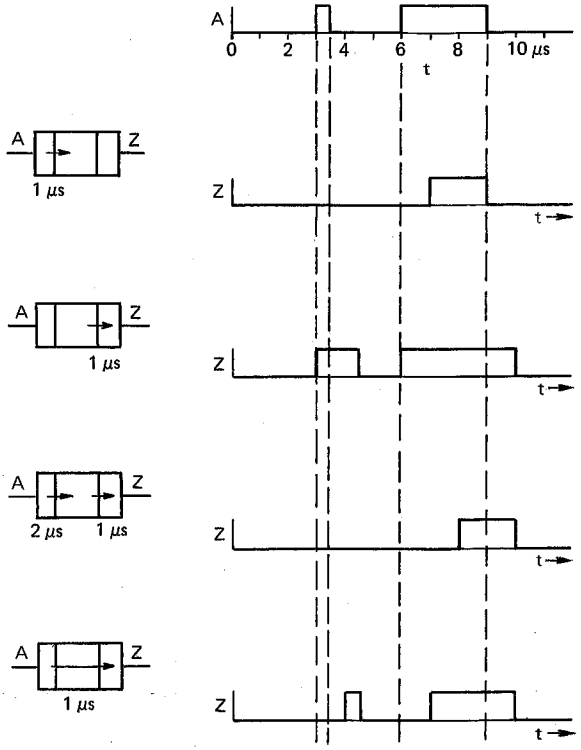
Lösung 7/8

Der Signal-Zeit-Plan müßte in folgender Weise ergänzt werden:



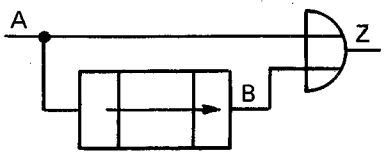
Lösung 7/9

Ergänzungen der Signal-Zeit-Pläne:



Lösung 7/10

Zu a)

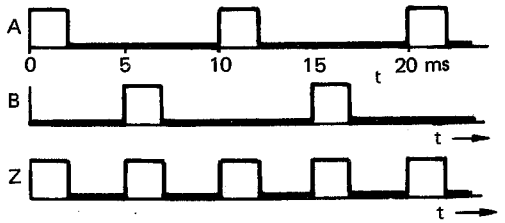


Zu b) $t_v = 1/2 \cdot T_1 = 5$ ms.

Erläuterung: Die Impulse der Grundfrequenz $f_1 = 100$ Hz folgen einander im zeitlichen Abstand von 10 ms, weil die Periodendauer $T_1 = 10$ ms ist.

Da eine Frequenzverdopplung angestrebt wird, muß zwischen je zwei Impulsen der Grundfrequenz ein weiterer Impuls erzeugt werden. Dies wird erreicht, indem mit Hilfe des Zeitgliedes jeder Impuls einmal wiederholt wird, und zwar nach Ablauf einer halben Periode der Grundfrequenz, im Beispiel also nach jeweils 5 ms. Deshalb muß die Verzögerungszeit des Zeitgliedes 5 ms betragen.

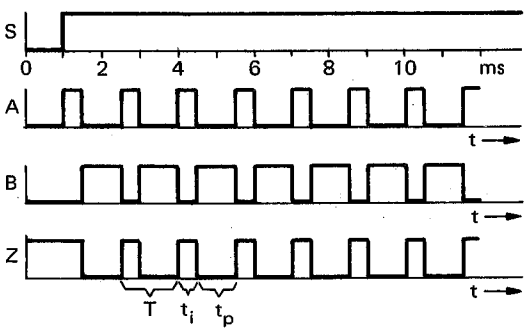
Zu c)



Zu d) Für f_1 : t_i/t_p = 2 ms/8 ms = 1/4,
für f_2 : t_i/t_p = 2 ms/3 ms = 2/3.

Lösung 7/11

Zu a)



Zu b) Bei dem hier verwendeten Verzögerungsglied ist die Einschaltverzögerung kürzer als die Ausschaltverzögerung. Dadurch ist die Dauer eines Impulses kürzer als die Dauer einer Pause. Das Tastverhältnis t_i/t_o ist hier 0,5 ms/1 ms = 1/2.

Zu c) Die Periodendauer ist 1,5 ms; denn
$T = t_i + t_p = 0{,}5$ ms + 1,0 ms = 1,5 ms.
Die Frequenz $f = 1/T$ beträgt dementsprechend 666⅔ Hz.

Lösung 7/12

Zu a) Folgende Monofloptypen sind zu unterscheiden:

1. Monoflop mit einem dynamischen Eingang, das nicht nachtriggerbar ist.
2. Monoflop mit einem dynamischem Eingang, das nachtriggerbar ist.
3. Monoflop mit einem statischen Eingang.
4. Monoflop mit je einem vorbereitenden und einem triggernden Eingang, das nicht nachtriggerbar ist.
5. Monoflop mit je einem vorbereitenden und einem triggernden Eingang, das nachtriggerbar ist.
6. Typen mit triggerndem Eingang lassen sich jeweils noch einmal in zwei Gruppen gliedern, je nachdem ob die positive oder negative Signal-Flanke auslöst.
7. Zusätzlich zu den Eingängen in 1 bis 5 kann noch ein statisch wirkender rückstellender Eingang kommen.

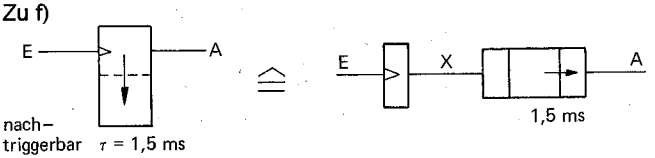
Zu b) Beim Monofloptyp 2 (nachtriggerbar) zählt die Verweilzeit t_v jeweils von der zuletzt eingetroffenen auslösenden Flanke an neu, während bei Typ 1 „auslösende" Flanken, die während der Verweilzeit eintreffen, wirkungslos bleiben, d. h. eigentlich gar nicht auslösen bzw. triggern.

Zu c) Beim Typ 2 wirkt sich jede (positive) Signalflanke auf den Eingang setzend aus; von dem Zeitpunkt ihres Eintreffens zählt die Verweilzeit. Demgegenüber kommen bei Typ 5 nur solche Flanken zur Wirkung, vor deren Eintreffen ein hinreichend langes L-Signal auf dem vorbereitenden Eingang lag.

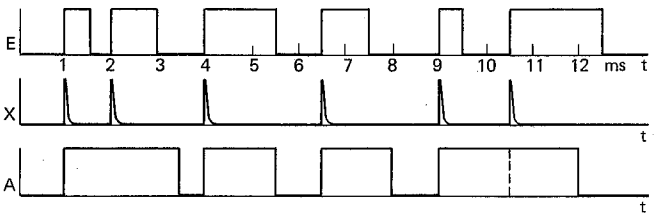
Zu d) Bei Typ 1 zählt die Verweilzeit vom Zeitpunkt der auslösenden (positiven) Flanke an. Bei Typ 3 zählt die Verweilzeit vom Ende des auslösenden statischen Signals an.

Zu e) Man kann nur Typ 3, das Monoflop mit statischem Eingang, als Zeitglied mit einer Ausschaltverzögerung darstellen. Bei Typ 1 hat man eine vom Einschaltzeitpunkt an laufende Ausschaltverzögerung, die ein einzelnes Zeitglied nicht wiedergeben kann. Ähnlich ist es bei den Typen 2, 4 und 5.

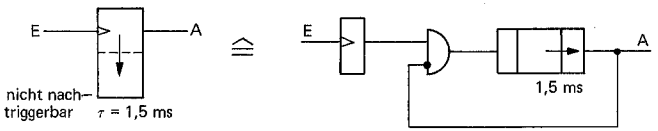
Zu f)



Zu 7/12 g)



Zu 7/12 h)



Kapitel 8

Lösung 8/1

Nein, es genügt ein einziges Flip-Flop, da insgesamt nur zwei Zustände (L bzw. 0) auftreten.

Lösung 8/2

Zu a) Wenn $T = 0$ ist, gilt unabhängig von J und K die Aussage $S_1 = R_1 = 0$.
Begründung: $S_1 = \overline{Q}_2 \wedge J \wedge T$; $R_1 = Q_2 \wedge K \wedge T$.
Ist $T = L$, so erhält man also
im Falle $Q_2 = 0$ bzw. $\overline{Q}_2 = L$ für $J = L$ den Wert $S_1 = L$,
im Falle $Q_2 = L$ für $K = L$ den Wert $R_1 = L$.
Daher gilt obige Aussage nur für $T = 0$.

Zu b) Wenn $T = L$ ist, gilt unabhängig von der Stellung des Hauptspeichers, also unabhängig vom Signalwert von Q_1, die Aussage $S_2 = R_2 = 0$.
Begründung: $S_2 = Q_1 \wedge \overline{T}$; $R_2 = \overline{Q}_1 \wedge \overline{T}$
Da entweder $Q_1 = L$ oder $\overline{Q}_1 = L$ ist, muß für $\overline{T} = L$ mindestens eine dieser beiden UND-Verknüpfungen den Wert L ergeben.
Daher gilt obige Aussage nur für $T = L$ bzw. $\overline{T} = 0$.

Lösung 8/3

Zu a) Falsche Antwort: „bei steigender T-Flanke".
Richtige Antwort: „solange $T = L$ ist". So lange nämlich sind J auf S_1 bzw. K auf R_1 durchgeschaltet, sofern entweder $J = \overline{Q}_2$ oder $K = Q_2$ ist. Änderungen von J und K kommen also so lange zur Wirkung, wie T auf L steht.

Zu b) Falsche Antwort: „solange $T = 0$ ist".
Richtige Antwort: „bei fallender T-Flanke".

Sobald und solange nämlich $T = 0$ ist, paßt sich die Stellung des Nebenspeichers bzw. Slaves wegen $S_2 = Q_1$ und $R_2 = \overline{Q}_1$ der des Hauptspeichers an. Wenn aber $T = 0$ ist, stehen beide Eingänge R_1 und S_1 des Hauptspeichers bzw. Masters auf 0; dieser verharrt also in seiner Stellung. Folglich ändert sich auch die Stellung des Masters höchstens zu dem Zeitpunkt, in dem $T = 0$ wird.

Zu c) Wenn $T = 0$ geworden ist, bzw. wenn die UND-Glieder vor S_1 und R_1 in Bild 8/9 gegenüber J und K wieder gesperrt sind.

Lösung 8/4

Zu a) Zum Zeitpunkt 5 überschreitet das Signal T am Eingang der Umkehrstufe G_0 im JK-Flip-Flop (Bild 8/10) die 50-%-Schwelle.

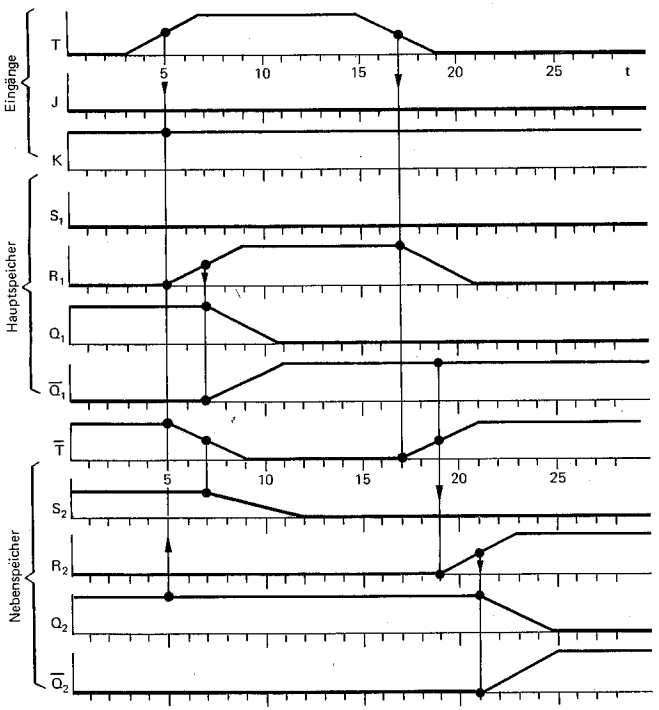
Zu b) An den Eingängen des UND-Gliedes G_2 in Bild 8/10 überschreitet zu diesem Zeitpunkt der Signalpegel T am oberen Eingang die 50-%-Schwelle zum L hin, während an den beiden anderen Eingängen bereits seit längerem K = L und Q_2 = L liegen.

Zu c) $\overline{Q}_1$ hat 50 % des 0-L-Übergangs zum Zeitpunkt 9 durchlaufen. Zu diesem Zeitpunkt könnte eine Reaktion am Ausgang des UND-Gliedes G_4 beginnen.

Zu d) Weil zum Zeitpunkt 9 am anderen Eingang dieses UND-Gliedes das Signal $\overline{T}$ die kritische 50-%-Schwelle längst nach 0 hin überschritten hat.

Zu e) Weil der „Signalweg" von $\overline{T}$ gegenüber dem von $\overline{Q}_1$ der kürzere ist: nur eine Negatorstufe gegenüber einer UND-Stufe und einem RS-Flip-Flop.

Zu f)



Lösung 8/5

Zu a) 1. Takt, 1. Hälfte: L_5 liegt am Eingang des Hauptspeichers M_1 an, L_5 ist noch nicht übernommen.
1. Takt, 2. Hälfte: L_5 ist nach M_1 übernommen, S_1 steht noch auf 0.
2. Takt, 1. Hälfte: L_5 befindet sich gleichzeitig in M_1 und S_1.
2. Takt, 2. Hälfte: L_5 befindet sich gleichzeitig in S_1 und M_2, während M_1 bereits O_4 übernommen hat.

Zu b) L_5 befindet sich in der 2. Hälfte des 4. Taktes in S_3 und M_4.

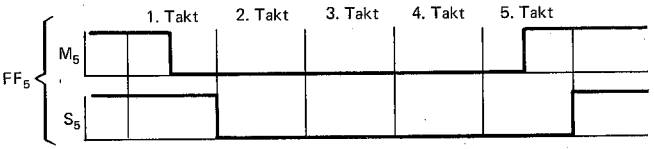
Zu c) Während der 2. Hälfte des 4. Taktes stehen
L_2 in M_1,
L_3 in S_1 und M_2,
O_4 in S_2 und M_3.

Zu d) Während der 1. Hälfte des 5. Taktes stehen
L_2 in M_1 und S_1,
L_3 in M_2 und S_2,
O_4 in M_3 und S_3.

Zu e) Die jeweils gleiche Information enthalten folgende Haupt- und Nebenspeicherpaare
während der 1. *Hälfte eines Taktes:*
M_1 und S_1, M_2 und S_2, M_3 Und S_3, M_4 und S_4, M_5 und S_5,
während der 2. *Hälfte eines Taktes:*
S_1 und M_2, S_2 und M_3, S_3 und M_4, S_4 und M_5.

Zu f) In jeder ersten Takthälfte befinden sich zusammengehörige Haupt- und Nebenspeicher in denselben Stellungen. Dieser Zustand tritt jeweils mit negativer (L-0-Übergang) T-Flanke ein.

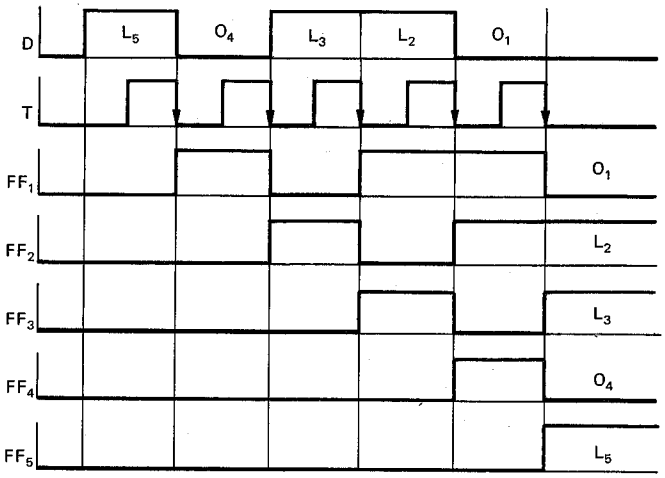
Zu g) Nur das Diagramm von FF_5 würde sich ändern. Mit steigender T-Flanke des 1. Taktes übernimmt M_5 die Null aus S_4; mit darauffolgender fallender T-Flanke wird diese Null auch S_5 aufgezwungen. Der vorher vorhandene Wert L ist verschwunden; er wurde „herausgeschoben".



zu h) Diese Null stand in der 1. Hälfte des 1. Taktes in M_1. Man lasse sich nicht dadurch täuschen, daß M_5 in den Takten 1 bis 4 auf null steht! In jedem Takt wird die gerade in FF_5 befindliche Information herausgeschoben.

zu i) Diese Null stand in der 1. Hälfte des 1. Takts in M_2.

Lösung 8/6



Lösung 8/7

zu a)

Da der Ausgang Q mit dem Eingang K und $\overline{Q}$ mit J verbunden ist, liegt der logische Zustand des letzten Flip-Flops des Schieberegisters invertiert am Eingang des ersten an. Dadurch erreicht man, daß das ursprüngliche Bitmuster, nach – in unserem Falle – fünf Taktimpulsen, invertiert im Schieberegister steht. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch.

zu b) Auch in diesem Fall steht das ursprüngliche Bitmuster nach fünf Takten negiert im Register, da bei einem Ringspeicher ohne äußere Festlegung jedes Flip-Flop gleichberechtigt ist und das Ergebnis, nach fünf Takten, nicht von dem Ort, sondern nur von der Anzahl der Kreuzungen abhängig ist.

Lösung 8/8

Aus Bild 8/18 ist zu entnehmen, daß an den Ausgängen beider NAND-Gatter G_5 und G_6 immer dann der Zustand L anliegt, wenn die statischen Eingänge beide den Zustand 0 haben. Damit liegt auch an den Eingängen S und R des RS-Flip-Flops jener Zustand an. Dies muß jedoch unbedingt vermieden werden, da dies nach den bekannten Regeln des RS-Flip-Flops verboten ist.

Lösung 8/9

zu a) Da alle Bits gleichzeitig parallel übertragen werden, dauert das genau eine Mikrosekunde.

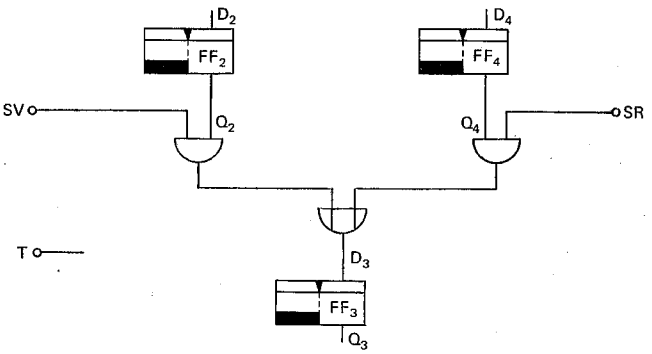
zu b) Da die Bits zeitlich nacheinander übertragen werden, dauert das zwanzig Mikrosekunden.

Lösung 8/10

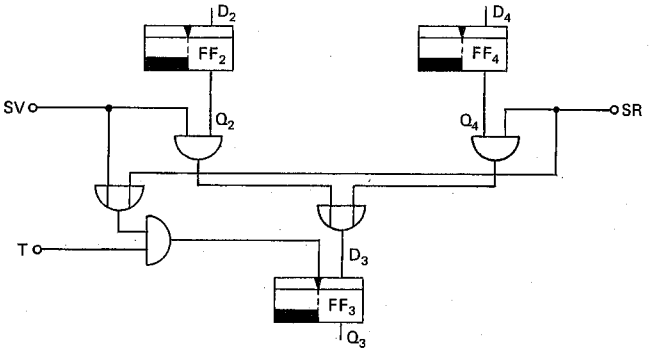
Die Ersparnis an Leitungen wiegt den Aufwand für die Umsetzer nicht auf; außerdem ist die Übertragungsgeschwindigkeit bei paralleler Übertragung größer. Man wird also in diesem Fall parallel übertragen.

Lösung 8/11

zu a)



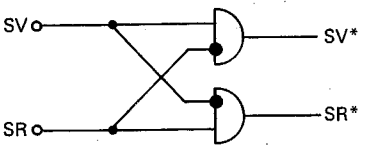
zu b)



zu c) Die Flanken von *SV* und *SR* dürfen nicht vor den Flanken von *T* kommen.

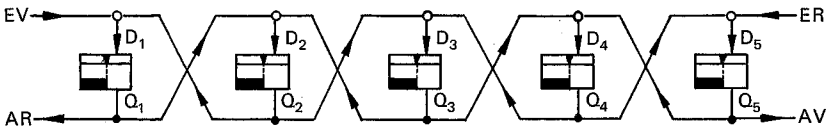
zu d) Man könnte die Laufzeit der Signale *SV* und *SR* erhöhen, indem man z. B. zwei Umkehrstufen in die Signalwege einbaut, die zu den UND-Gliedern bei Q_2 und Q_4 führen. Im folgenden sei aber angenommen, daß die Bedingung in Übung 8/11 c) auch ohne diesen Kniff erfüllt ist.

zu e)

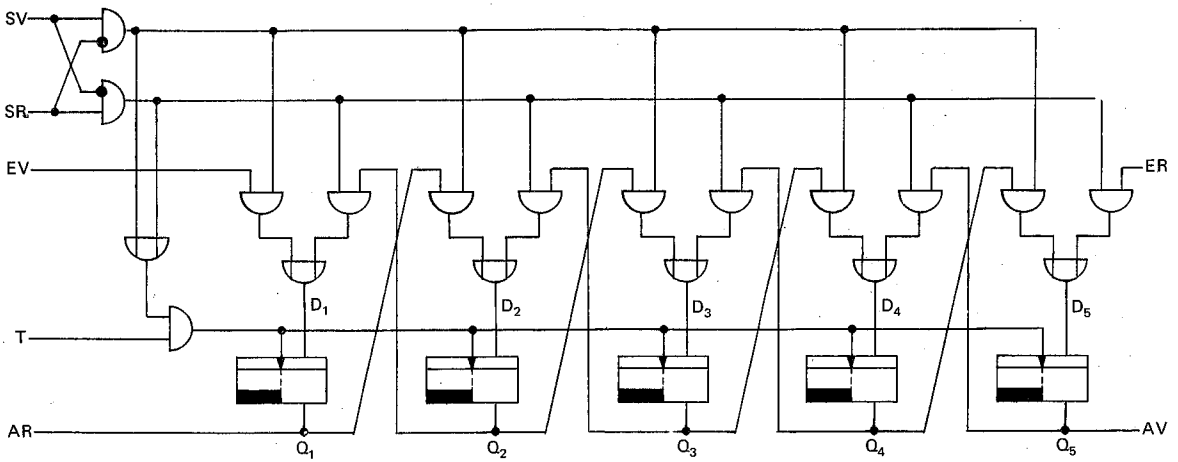


zu f) Zum Rückwärtsschieben müssen Q_2 auf D_1 und Q_3 auf D_2 geschaltet werden, zum Vorwärtsschieben Q_3 auf D_4 und Q_4 auf D_5.

zu g)



zu h)



zu i) In der Lösung der vorigen Aufgabe liegen vor jedem D-Eingang ein ODER- und zwei UND-Glieder. Je eine derartige Dreiergruppe bräuchte man sowohl für den J- als auch für den K-Eingang. Es ist weniger aufwendig, die Dreiergruppe nur für den J-Eingang vorzusehen und ihren Ausgang außerdem über eine Umkehrstufe auf den K-Eingang zu schalten ($K = \overline{J}$).

zu j) Man erhält aus 00LL0 ≙ 6 durch Vorwärtsschieben 000LL ≙ 3 (Division durch 2) und durch Rückwärtsschieben 0LL00 ≙ 12 (Multiplikation mit 2).

Kapitel 9

Lösung 9/1

Zu a) Eine Zählstelle in einem dezimalen Zähler muß zehn verschiedene Zustände einnehmen können. Beispiel einer dezimalen Zählstelle ist das Zähl- bzw. Ziffernrad beim Kilometer-Zähler, das zehn verschiedene Winkelstellungen einnehmen kann.

Zu b) Jeder Ziffer entspricht genau ein Zustand. Also gibt es ebensoviel Zustände wie Ziffern. Beim Zählprozeß werden die Zustände in der Reihenfolge der entsprechenden Ziffern durchlaufen.

Zu c) Auf den Zustand der Zählstelle, der zur letzten Ziffer – z.B. 9 – gehört, folgt wieder der Zustand, der zur ersten – z.B. 0 – gehört.

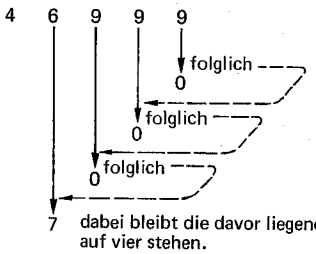
Zu d) Die hinteren drei Zählstellen stehen jeweils auf neun, die zweitvorderste auf sechs und die vorderste auf vier.

Zu e) Die drei letzten Stellen haben sämtlich den Zustand eingenommen, der der letzten Ziffer des Zahlensystems entspricht.

Zu f) Wenn bei einem dezimalen Zähler unmittelbar vor einem Zählschritt die letzte Zählstelle, UND die zweitletzte Zählstelle, UND die *drittletzte Zählstelle* auf dem Zustand *Neun* stehen, so macht die viertletzte Zählstelle einen *Vorwärtsschritt.*

Zu g) Wenn bei einem dezimalen Zähler eine Zählstelle vom Zustand *Neun* zum *Zustand Null* übergeht, so macht die nächst höhere Zählstelle *einen Vorwärtsschritt.*

Zu h)



Zu i) Die letzte Neun hat den Stellenwert $1 = 10^0$, die zweitletzte den Stellenwert $10 = 10^1$ und die drittletzte den Stellenwert $100 = 10^2$.

Lösung 9/2

Zu a) Ein Bauelement, das als Zählstelle in einem dualen Zähler benutzt wird, muß zwei verschiedene Zustände haben, die der 0 bzw. dem L zugeordnet werden.

Zu b) Auf den Zustand L folgt wieder der Zustand 0.

Zu c) Von 0 ausgehend nimmt eine duale Zählstelle, wenn sie fünfmal zum Vorwärtszählen angestoßen wird, der Reihe nach die Zustände L, 0, L, 0 und L an.

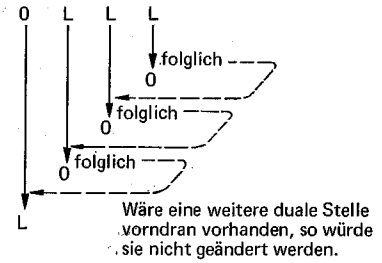
Zu d) Unmittelbar vor L000 haben die drei letzten Stellen eines vierstelligen dualen Zählers den Zustand L, die vorderste den Zustand 0.

Zu e) Es ist 0LLL ≙ 7 und L000 ≙ 8.

Zu f) Wenn bei einem dualen Zähler unmittelbar vor einem Zählschritt die letzte Zählstelle UND die *vorletzte* Zählstelle UND *die drittletzte Zählstelle* auf dem Zustand *L* stehen, so macht die viertletzte Zählstelle einen *Vorwärtszählschritt.*

Zu g) Wenn bei einem dualen Zähler eine Zählstelle vom Zustand L zum Zustand 0 übergeht, so macht die nächst höhere Zählstelle einen *Vorwärtszählschritt.*

Zu h)



Zu i) Das hinterste L hat den Stellenwert $1 = 2^0$, das zweitletzte $2 = 2^1$ und das drittletzte $4 = 2^2$.

Lösung 9/3

Mit sechs Flip-Flops werden bis zu 1 + 2 + 4 + 8 + 16 + 32 = 63 Zählimpulse erfaßt, mit sieben bis zu 1 + 2 + 4 + 8 + 16 + 32 + 64 = 127. Für einen 0-bis-99-Zähler benötigt man also mindestens sieben Flip-Flops.

Lösung 9/4

Zu a) Eine duale Zählstelle kann ihren Zustand auf zweierlei Art ändern:

1. Übergang vom Zustand L nach Zustand 0,
2. Übergang vom Zustand 0 nach Zustand L.

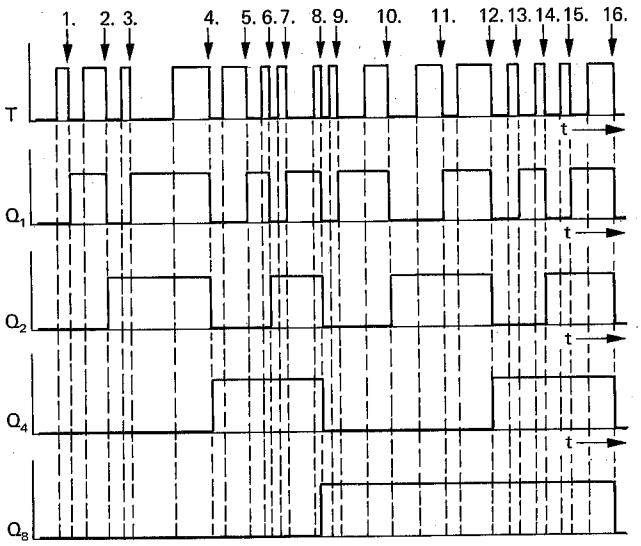
Je nach vorliegendem Zustand ist das Geschehen durch „Zustandsänderung" eindeutig gekennzeichnet. Demgegenüber gibt es bei einer dezimalen Zählstelle sehr viele denkbare Zustandsänderungen, z.B.: von 7 nach 8, von 7 nach 6, von 7 nach 1 u.s.w.. Bei einer dezimalen Zählstelle müßte man also den Zählschritt etwa so kennzeichnen: Übergang zu dem Zustand, der der nächst größeren Ziffer entspricht, wobei 0 als „nächstgrößere" Ziffer zu 9 aufzufassen ist.

Zu b) Wenn die duale Zählstelle von L nach 0 weiterzählt, so ergeben sich an den Ausgängen des zugehörigen Zähl-Flip-Flops folgende Signalwechsel:

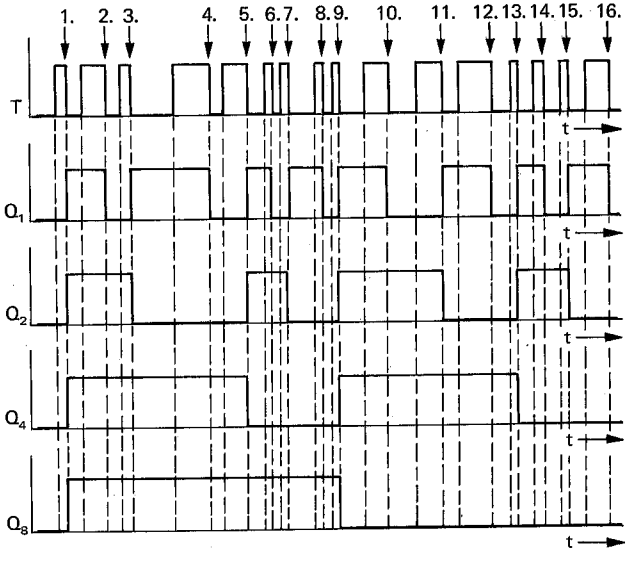
Q: Übergang von L nach 0,
$\overline{Q}$: Übergang von 0 nach L.

Zu c) Bei dem Zähl-Flip-Flop mit dem höheren Stellenwert muß die Zustandsänderung bzw. der Zählschritt ausgelöst werden, wenn die Zählstelle mit dem niedrigeren Stellenwert von L und 0 weiterzählt. Wird das „höhere" Zähl-Flip-Flop durch einen 0-L-Signalwechsel ausgelöst, so kann er nur von $\overline{Q}_1$ geliefert werden; benötigt es einen L-0-Signalwechsel, so tritt Q_1 an die Stelle von $\overline{Q}_1$.

Lösung 9/5



Lösung 9/6

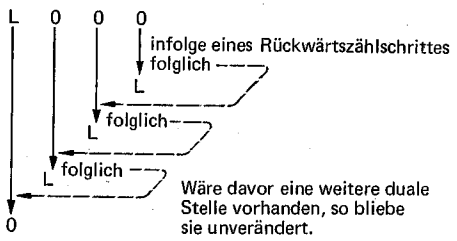


Lösung 9/7

Zu a) Wenn eine duale Zählstelle – bzw. ein sie repräsentierendes Zähl-Flip-Flop – an einem Rückwärtszählschritt beteiligt ist, so werden L durch 0 oder 0 durch L ausgetauscht. Es erfolgt also eine Zustandsänderung.

Zu b) Wenn Q_1 von 0 auf L wechselt, muß auch Q_2 seinen Zuändern.

Zu c)



Zu d) Q_2 muß seinen Zustand ändern – d.h. einen Zählschritt ausführen –, wenn Q_1 einen 0-L-Signalwechsel hat. Wird Q_2 mit 0-L-Signalwechsel ausgelöst, so muß also Q_1 auf den Takteingang von Q_2 geschaltet werden. Reagiert Q_2 auf L-0-Signalwechsel, so muß man statt dessen $\overline{Q}_1$ aufschalten.

Lösung 9/8

Eingetragen: Ausgang eines Zähl-Flip-Flops Q_1, der auf den Takteingang des benachbarten Zähl-Flip-Flops Q_2 mit höherem Stellenwert geschaltet wird		Zählrichtung	
		vorwärts	rückwärts
Steuerungsart der benutzten Zähl-Flip-Flops	0-L-Signalwechsel	$\overline{Q}_1$	Q_1
	L-0-Signalwechsel	Q_1	$\overline{Q}_1$

Lösung 9/9

Zu a) $U_1 = 0, U_2 = L, U_3 = 0, U_4 = 0, U_5 = 0, U_6 = L, O_1 = L, O_2 = 0, O_3 = L$.

Zu b) Kurzzeitig, während beide Schalterkontakte offen sind, gehen alle Gatter-Ausgänge auf 0-Signal. Sodenn ergibt sich bei U_3 und folglich auch O_2 ein L-Signal. Dieser 0-L-Signalwechsel bewirkt eine Zustandsänderung bei FF4 von L auf 0, der über U_5 und O_3 als 0-L-Signalwechsel eine Zustandsänderung bei FF8 bewirkt. Dort ergibt sich der neue Zustand L. Somit hat der Zähler infolge der Rückwärts-Vorwärtsumschaltung, ohne daß Zählimpulse angekommen wären, seinen Inhalt von 0L0L ≙ 5 auf L00L ≙ 9 geändert.

Zu c) Es darf *kein 0-L-Signalwechsel* vorkommen. Er würde vom Ausgang eines UND-Glieds über das dahinterliegende ODER-Glied auf den Takteingang eines Flip-Flops laufen und es umsteuern.

Zu d) Falls die drei letzten Flip-Flops auf L stehen, kann von „Rückwärts" auf „Vorwärts" geschaltet werden, ohne daß der in Übung 9/9e, verbotene Signalwechsel vorkommt. Die entgegengesetzte Umschaltung ist möglich, wenn die drei letzten Flip-Flops auf 0 stehen.

Lösung 9/10

Zu a) In Bild 9/32 wird FF2 auf das Setzen vorbereitet, wenn $Q_1 \wedge \overline{Q}_2 = L$ ist, auf das Rücksetzen, wenn $Q_1 \wedge Q_2 = L$ ist. FF2 ändert also seinen Zustand, wenn nach Vorbereitung infolge $Q_1 = L$ ein 0-L-Signalwechsel über Z Kommt.

Zu b) Ausgangszustand: $Q_1 = 0, Q_2 = 0.$
Vorbereitung: FF1 auf Setzen,
nach 1.steigender *Z*-Flanke: $Q_1 = L, Q_2 = 0.$
Vorbereitung: FF2 auf Setzen,
nach 2. steigender *Z*-Flanke: $Q_1 = L, Q_2 = L.$
Vorbereitung: FF1 auf Rücksetzen
nach 3. steigender *Z*-Flanke: $Q_1 = 0, Q_2 = L.$
Vorbereitung: FF2 auf Rücksetzen
nach 4. steigender *Z*-Flanke $Q_1 = 0, Q_2 = 0.$

Zusammenfassung: 0 - 1 - 3 - 2 - 0.

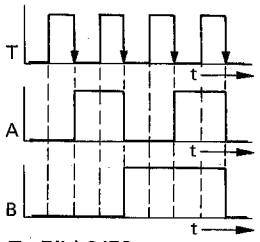
Zu c) Bild 34: 0 - 2 - 3 - 1 - 0.
Bild 35: 0 - 3 - 1 - 2 - 0.

Lösung 9/11

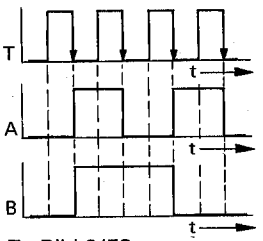
FF8 wird auf Setzen vorbereitet, wenn $\bar{Q}_8 = L$ und $Q_1 = Q_2 = Q_4 = L$ ist. FF8 wird auf Rücksetzen vorbereitet, wenn $Q_8 = L$ und $Q_1 = Q_2 = Q_4 = L$ ist. Eine Zustandsänderung ergibt sich also, wenn die drei hinteren Flip-Flops auf L stehen und danach eine steigende *Z*-Flanke kommt.

Lösung 9/12

Zu a)



Zu Bild 9/52:
n = 4 V vorwärts



Zu Bild 9/53:
n = 4 V rückwärts

Zu b)

nach *Z*-Flanke Nr.	Vorbereitung	Zustand FF1	FF2	FF3
0	FF1 auf Zustandsänderung	0	0	0
1	FF1 und FF2 auf Zustandsänderung	L	0	0
2	FF1 auf Zustandsänderung	0	L	0
3	FF1, FF2 und FF3 auf Zustandsänderung	L	L	0
4	FF1 auf Zustandsänderung	0	0	L
5	FF1 auf Zustandsänderung FF2 und FF3 auf Rücksetzen	L	0	L
6		0	0	0

Zusammenfassung: 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 0
modulo-6-Vorwärts-Zähler.

Lösung 9/13

Zu a) Folgende Bezeichnungen entsprechen einander:

Bild 9/36	Q_4	Q_8	$\bar{U}_2$	U_2	$\bar{U}_4$	U_4	$\bar{U}_8$	U_8	FF1 bis FF8
Schaltung aus 9/13 a	Q_3	Q_4	R_2	S_2	R_4	S_4	R_8	S_8	FF1 bis FF4

Hinsichtlich der Funktion ergeben sich folgende Unterschiede:

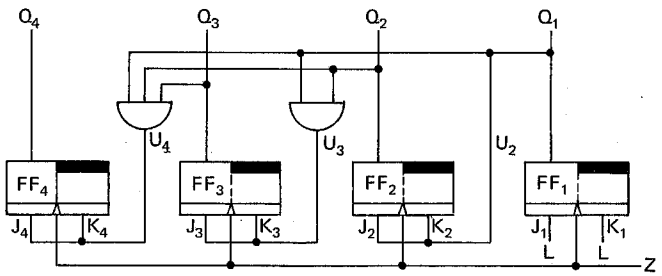
Es fehlen hier die Treiber und die Lampenanzeige aus Bild 9/36. Außerdem ist durch die Bezeichnung der Eingänge angedeutet, daß es sich um RS-Flip-Flops handelt, während das in Bild 9/36 offen bleibt.

Da in 9/36 und in der Schaltung aus Übung 9/13a, bei jedem Flip-Flop der Ausgang Q auf das vor dem rücksetzenden Eingang liegende UND-Glied geschaltet ist, entsprechend $\bar{Q}$ beim setzenden, können in keinem Fall beide Flip-Flop-Eingänge mit L-Signal beaufschlagt sein. Da nur bei dieser Konstellation das JK-Flip-Flop ein abweichendes Verhalten hätte, ist es belanglos, welcher der beiden Flip-Flop-Typen vorliegt. Die jetzige Schaltung hat also als ganzes dieselbe Funktion wie die in Bild 9/36: ein synchroner mod-16-Zähler.

Zu b) In der Schaltung der Übung 9/13a) ist
$R_3 = Q_3 \wedge Q_1 \wedge Q_2$, $S_3 = Q_1 \wedge Q_2 \wedge \bar{Q}_3$.
In der Schaltung dieser Übung ist
$R_3 = Q_3 \wedge U_3$, $S_3 = U_3 \wedge \bar{Q}_3$ mit $U_3 = Q_1 \wedge Q_2$.
Wegen des Assoziativgesetzes gilt
$Q_3 \wedge Q_1 \wedge Q_2 = Q_3 \wedge (Q_1 \wedge Q_2) = Q_3 \wedge U_3$,
$Q_1 \wedge Q_2 \wedge \bar{Q}_3 = (Q_1 \wedge Q_2) \wedge \bar{Q}_3 = U_3 \wedge \bar{Q}_3$.
Die beiden Schaltungen sind also funktional gleich.

Zu c) Die beiden äußeren – mit U_3 beaufschlagten – Eingänge der UND-Glieder bei FF3 haben folgende Funktion: Auf der linken Seite wird Setzen vorbereitet, sofern das Flip-Flop auf 0 steht. Auf der rechten Seite wird Rückstellen vorbereitet, sofern das Flip-Flop auf L steht. Wird auf diesen beiden Eingängen L beaufschlagt – wenn $U_3 = L$ ist –, so wird eine Zustandsänderung vorbereitet. Das entspricht genau der Funktionstabelle eines JK-Flip-Flops.

Zu 9/13 d)

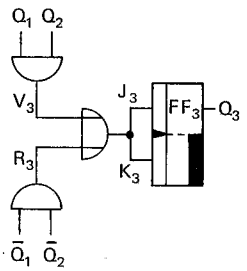


Zu b)

1. Eine duale Zählstelle nimmt an einem Rückwärtszählschritt teil, wenn vor Ankunft des Rückwärtszählimpulses bzw. der auslösenden Flanke alle Zählstellen mit niedrigerer Wertigkeit auf Null stehen. Die Bedingung für die Viererstelle bzw. die dritte Stelle von rechts lautet also:
$R_3 = \bar{Q}_2 \wedge \bar{Q}_1$.

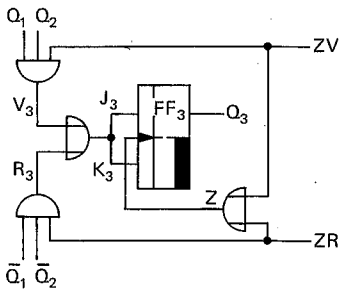
2. Nimmt ein Flip-Flop an einem Rückwärtszählschritt teil, so ändert es seinen Zustand. Ist der Vorzustand 0 so geht es über auf L und umgekehrt.

Zu c) Man muß eine ODER-Verknüpfung von V_3 und R_3 zur Umkehr-Vorbereitung benutzen. (Es sei hierbei einmal vorausgesetzt, daß nicht gleichzeitig ein Vorwärts- und ein Rückwärtszählschritt erfolgen.)



Zu d) Man muß die beiden UND-Glieder in Übung 9/14c, mit einem dritten Eingang versehen. Auf ihn wird beim oberen UND-Glied *ZV* aufgeschaltet, beim unteren *ZR*.

Zu e) Man kann zu diesem Zweck die fallenden Flanken der *ZV*- bzw. *ZR*-Impulse benutzen. Sie liegen zum richtigen Zeitpunkt vor, nämlich nach der evtl. Umkehrvorbereitung. Da man nur einen Takteingang hat, müssen *ZV* und *ZR* ODER-verknüpft werden.



Lösung 9/14 !

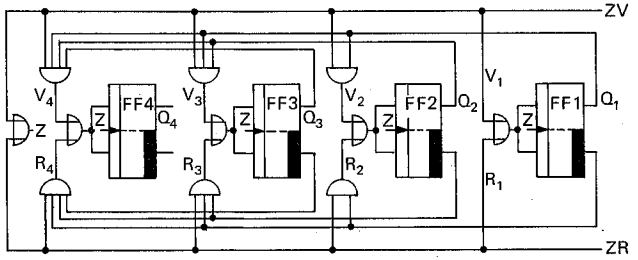
Entwurf eines mod-16-Vorwärts-Rückwärtszählers.

Zu a)

1. Die Flip-Flops sind um 90^0 nach rechts gedreht, so daß ihre *Eingänge links, ihre Ausgänge rechts* liegen.
2. Die Leitung für den Zählimpuls *Z* ist nicht mehr ausgeführt, statt dessen ist an sämtlichen *Takteingängen Z notiert*. Das Signal für die Umkehrvorbereitung ist mit *V* statt mit *U* bezeichnet.
3. Während die Schaltung in der Lösung von Übung 9/13d, steigende Impulsflanken zählt, reagiert die hier betrachtete Schaltung auf *fallende Flanken bzw. L-0-Signalwechsel.*

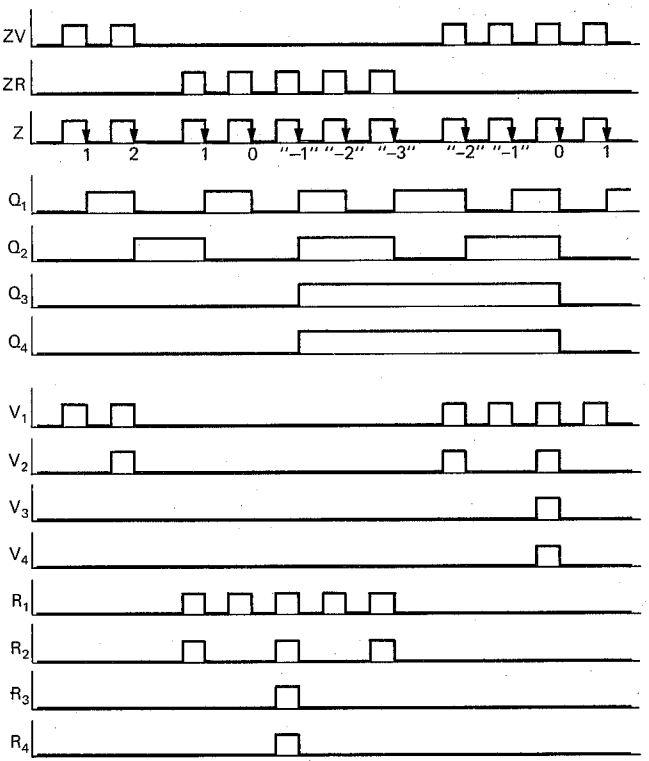
Anmerkung zum Funktionsprinzip: Ein Flip-Flop nimmt an einem Vorwärtszählschritt teil bzw. macht einen Zustandswechsel, wenn vor Ankunft einer fallenden Impulsflanke alle Flip-Flops für Stellen niedrigerer Wertigkeit auf L stehen.

Zu f) Synchroner dualer mod-16-Vorwärts-Rückwärts-Zähler.
Flip-Flop-Art: JK-Flip-Flop, getaktet mit fallender Flanke.
Funktionsbedingung: *ZV* und *ZR* dürfen nicht gleichzeitig den Wert L haben. Zwischen *ZV* = L und *ZR* = L müssen beide Zählimpulse gemeinsam den Wert 0 haben.



Zu g)
1. Wegen $Q_1 = 0$, ist $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 0$.
2. Da $\overline{Q}_3 = 0$ ist, ist auch $R_4 = 0$. Somit wird FF4 in seinem Zustand beharren.
3. Wegen $\overline{Q}_1$ = L, $\overline{Q}_2$ = L und *ZR* = L haben R_1, R_2 und R_3 den Wert L. Die Flip-Flops FF1, FF2 und FF3 werden also zu einer Umkehrung vorbereitet.
4. $Z = ZV \vee ZR$ = L ergibt einen L-0-Signalwechsel beim Ende der beiden Zählimpulse und kehrt die hinteren drei Flip-Flops um. Neuer Zustand: 00LL ≙ 3.
5. Sinngemäß hätte der Zähler auf 0L00 ≙ 4 stehen bleiben müssen, da sich ein Vorwärts- und ein Rückwärtszählschritt gegenseitig aufheben müßten.

Zu h)



Kapitel 10

Lösung 10/1 !

Zu a) Es ist 85 = 64 + 16 + 4 + 1. Ausgehend von Null hat ein siebenstelliger Dualzähler folgenden Signalzustand:

L	0	L	0	L	0	L
64	32	16	8	4	2	1

Zu b) Zwei Zähldekaden haben nach 85 Zählimpulsen ausgehend von null folgenden Signalzustand:

Zehnerdekade				Einerdekade			
L	0	0	0	0	L	0	L

Zu 10/1 c). Der Faktor duale gegen dezimale Stellenzahl lautet hier 10/3 = 3,33. Ein besserer und allgemein gültiger Schätzwert ist 3,32.

Beispiel: *3 dezimale Stellen*:
3 · 3,32 = 9,96, aufgerundet
10 duale Stellen.

Zu d)

Rein dual: *6 dezimale Stellen*:
6 · 3,32 = 19,92 aufgerundet
20 duale Stellen = 20 Flip-Flops.

Mit Zähldekaden: je dezimale Stelle 4 Flip-Flops:
6 · 4 = 24 *Flip-Flops.*

Lösung 10/2

Fragen zur asynchronen Zähldekade in Bild 10/6.

Zu a) Die Zähldekade in Bild 10/6 wird durch fallende Flanke bzw. L-0-Signalwechsel getaktet. Ein solcher Signalwechsel wird für den Zehnerübertrag benötigt, wenn die Dekade von 9 auf 0 schaltet. Man erhält ihn am Ausgang Q_4 von Flip-Flop FF4.
Zu b) FF4 geht erst auf L über, wenn nach Vorbereitung durch L auf Eingang J ein L-0-Signalwechsel am Takteingang erfolgt. Im Anschluß an den Zustand 0LL0 kommt aber von FF1 her ein 0-L-Signalwechsel auf den Takteingang. Logisch interpretiert: Bedingung für Setzen ist: Vorbereitung auf J und anschließend fallende Taktflanke. Diese logische Verknüpfung von Vorbereitung und Taktung wird üblicherweise nicht formelmäßig dargestellt. Gerade durch sie aber werden die Vereinfachungen in der asynchronen Schalttechnik ermöglicht.

Lösung 10/3

Zustandsfolge in einer Zähldekade.

Zu a) Sobald FF4 gesetzt ist, werden FF3 und FF2 über die statischen Eingänge S_3 bzw. S_2 auf L gesetzt.

Zu b) Bis einschließlich 0LLL ≙ 7 ist der Ablauf derselbe wie in einem asynchronen Dualzähler.

Zu c) Der im Zustand 0LLL als Z-Impuls ankommende 0-L-Signalwechsel stellt FF1 zurück. Der dabei von $\overline{Q}_1$ kommende 0-L-Signalwechsel stellt FF2 zurück. Der dabei von $\overline{Q}_2$ kommende 0-L-Signalwechsel stellt FF3 zurück. Der dabei von $\overline{Q}_3$ kommende 0-L-Signalwechsel setzt FF4. Das dabei an Q_4 entstehende L-Signal setzt FF2 und FF3 wieder. Es ergibt sich also nach einem Zwischenzustand L000 der neue Zustand LLL0.

Zu d)

FF4	FF3	FF2	FF1	Takt
0	0	0	0	0
0	0	0	L	1
0	0	L	0	2
0	0	L	L	3
0	L	0	0	4
0	L	0	L	5
0	L	L	0	6
0	L	L	L	7
L	L	L	0	8
L	L	L	L	9
0	0	0	0	0

Lösung 10/4

Vereinfachung der Decodierschaltung in Bild 10/11.

Zu a) $F_2 = \overline{C} \wedge B \wedge \overline{A}$ hat nur den Wert L, wenn $C = 0$ und $B = L$ und $A = 0$ ist. Unter den 16 Wertkombinationen, die D, C, B, A einnehmen können, gibt es nur zwei, für die das zutrifft:

L0L0 ≙ 10 und 00L0 ≙ 2.

Die Kombination 10 kommt im 8-4-2-1-Code nicht vor. Daher hat F_2 nur für den einen Signalzustand 2 der Zähldekade den Wert L.

Zu b) Die Funktion der Schaltung bliebe dieselbe; denn nach wie vor würde nur im Zustand 00L0 der Ausgang 2 ein L-Signal führen. Man könnte also statt eines UND-Gliedes mit vier, ein solches mit drei Eingängen an dieser Stelle benutzen. In gleicher Weise könnte man die UND-Glieder in den Ausgängen 3 bis 7 vereinfachen:

$F_3 = \overline{C} \wedge B \wedge A$, $F_4 = C \wedge \overline{B} \wedge \overline{A}$, $F_5 = C \wedge \overline{B} \wedge A$, $F_6 = C \wedge B \wedge \overline{A}$, $F_7 = C \wedge B \wedge A$.

Zu c) Da Signalkombinationen $D = L$ und $A = 0$ sowie $D = L$ und $A = L$ unter den Signalzuständen für 0 bis 8 nicht vorkommen, genügen an den Ausgängen 8 und 9 UND-Glieder mit zwei Eingängen:

$F_8 = D \wedge \overline{A}$, $F_9 = D \wedge A$.

Lösung 10/5

Bei einer Taktfrequenz von 10 MHz dauert ein Takt 0,000 000 1 s = 0,1 µs. Wenn der Zähler 48 236 Takte gezählt hat, ist eine Zeitspanne von
$t = 48\,236 \cdot 0{,}1\ \mu s = 4823{,}6\ \mu s = 4{,}8236$ ms.
gemessen worden.

Lösung 10/6

Drehzahlmessung beim Wankelmotor.

Zu a) Vier Verbrennungsräume je drei Zündungen je Umdrehung ergibt insgesamt
$4 \cdot 3 = 12$ Zündimpulse je Wellenumdrehung.

Zu b) 4000 U/min mit je 12 Zündimpulsen/U ergibt
$12 \cdot 4000$ Zündimpulse/min, also
$12 \cdot 4000/60 = 4000/5 = 800$ Zündimpulse/s.

Zu c) Als Meßzeit würde man 0,5 s wählen. Die Impulszahl müßte mit dem Faktor 10 in U/min umgerechnet werden. Da man evtl. fast einen ganzen Impuls nicht mitzählt, könnte die Umrechnung einen Fehler bis zu 10 U/min bedeuten, das wären 0,25 % bei 4000 U/min. Da der benutzte Dezimalzähler wohl drei Stellen haben müßte, ergäbe sich demgegenüber theoretisch eine Genauigkeit von 0,1 % = 1 %. Die relative Meßgenauigkeit hängt also auch von der Meßgröße selbst ab.

Lösung 10/7

Genauigkeit einer Periodenmessung.

Da der Zähler nur bis 999 999 999 geht, muß die Oszillatorfrequenz f so eingestellt werden, daß während der Periodendauer T nicht mehr als $Z = 999\,999\,999$ Zählimpulse kommen. Es ist aber
$Z = T \cdot f$.

Die Meßungenauigkeit D entspricht der Dauer eines Zählimpulses:
$D = 1/f$.
Mit $D = 1\ \mu s = 10^{-6}$ s erhält man $f = 1$ MHz $= 10^6$ Hz. Kleiner darf f nicht sein. Setzt man näherungsweise $Z_{max} = 10^9$, so folgt aus der Gleichung $Z = T \cdot f$.

$10^9 = T_{max}\, 10^6$ also $T_{max} = 10^3$ s.

Der exakte Wert wäre $T_{max} = 999{,}999\,999$ s. Dem entspricht eine zu messende Frequenz von etwa 0,001 Hz.

Lösung 10/8

Zu a) In der Meßzeit von 0,2 s = 200 ms beträgt bei 0,5 V/ms Anstieg der maximale Spannungswert
$0{,}5\ \frac{V}{ms} \cdot 200$ ms = 100 V (Meßbereich).

Zu b) In 0,2 s ist die Impulszahl bei 50 kHz
$0{,}2 \cdot 50\,000\ [s \cdot s^{-1}] = 10\,000$
Da der eigentliche Meßvorgang im Zählen von Impulsen besteht, benötigt man vier dezimale Stellen (Stellenzahl), wenn man eine Kleinigkeit verschenkt.

Zu c) Eine Einheit der letzten Stelle entspricht dem Spannungsanstieg während der Dauer eines Zählimpulses. Ein Zählimpuls dauert bei 50 kHz
1/50 000 = 0,02 ms.
Bei einem Anstieg von 0,5 V/ms ergibt sich daraus ein Spannungswert je Impulszeit von
0,02 ms · 0,5 V/ms = 0,01 V.
Dies ist der Spannungswert je Einheit der letzten Stelle.

Lösung 10/9

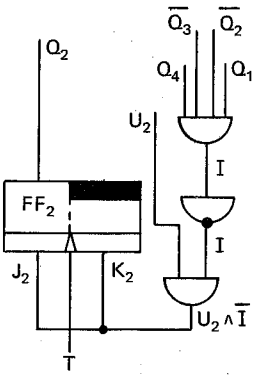
Zu a)
1. U_4 ist sowohl auf J_4 als auch auf K_4 geschaltet.
U_4 = L bewirkt also, daß FF4 mit der nächsten steigenden Z-Flanke seinen Zustand umkehrt, d.h.
einen Zählschritt macht. (U_4 = „Umkehrvorbereitung".)
2. Die Umkehrvorbereitung von FF4 erfolgt, wenn
Q_3 = L und Q_2 = L und Q_1 = L ist: $U_4 = Q_3 \wedge Q_2 \wedge Q_1$.
Zusätzliche Anmerkung: Die Umkehrvorbereitung von FF3 erfolgt, wenn
Q_2 = L-und Q_1 = L ist: $U_3 = Q_2 \wedge Q_1$.
Die Umkehrvorbereitung von FF2 erfolgt, wenn
Q_1 = L ist: $U_2 = Q_1$.
Die Umkehrvorbereitung von FF1 erfolgt ständig: $J_1 = K_1$ = L.

Zu 10/9 b)

1. Bei $Q_4 = L$, $Q_3 = 0$, $Q_2 = 0$, $Q_1 = L$ werden folgende Umkehrungen vorbereitet:
FF1: Es ist ständig $J_1 = K_1 = L$,
FF2: Es ist $U_2 = Q_1 = L$,
wegen $Q_2 = 0$ ist $U_3 = U_4 = 0$.
2. $U_2 = L$ würde einen unerwünschten Wechsel bei FF2 von $Q_2 = 0$ auf $Q_2 = L$ bewirken. Es müßte also verhindert werden, daß U_2 im Zustand 9 auf J_2 und K_2 gelangt.
3. FF4 steht auf L und wird nicht zur Umkehrung vorbereitet. Das müßte zusätzlich zur vorliegenden Schaltung erfolgen. FF1 steht zwar auf L, wird aber ohnehin vom nächsten Zählimpuls rückgestellt.

Zu c) $I = Q_4 \wedge \overline{Q}_3 \wedge \overline{Q}_2 \wedge Q_1$ (Minterm).

Zu d)



Steht der Zähler zwischen 0000 ≙ 0 und L000 ≙ 8 einschließlich, so ist $I = 0$. Es folgt $\overline{I} = L$, also
$U_2 \wedge \overline{I} = U_2 \wedge L = U_2$.
FF2 wird sich also bis zum Eintritt von L00L ≙ 9 verhalten wie im Dualzähler. Ist aber dieser Zustand erreicht, so wird
$I = L$ und $U_2 \wedge \overline{I} = U_2 \wedge 0 = 0$.
Also bleibt FF2 nach 9 auf 0 stehen.

Zu e) Man unterbricht die Leitung zwischen U_4 einerseits und J_4 und K_4 andererseits mittels eines ODER-Gliedes. Sein Ausgang führt auf J_4 und K_4, auf seinen Eingängen werden U_4 und I aufgeschaltet. Für die Zustände 0000 ≙ 0 bis L000 ≙ 8 gilt wie bisher wegen $I = 0$.

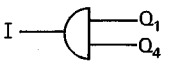
$J_4 = K_4 = U_4 \vee I = U_4 \vee 0 = U_4$.

Das Verhalten der Schaltung wird also erst nach Eintreten des Zustandes L00L ≙ 9 wegen $I = L$ geändert:

$J_4 = K_4 = U_4 \vee I = U_4 \vee L = L$.

FF4 wird also im Anschluß an diesen Zustand rückgesetzt.

Zu f)
$I = Q_4 \wedge Q_1$, also:



Zu g) Die Lösung ist mit Bild 10/9 gegeben.

Kapitel 11

Lösung 11/1

Ja. Es werden dabei drei Zustände unterschieden:

1. langes Signal,
2. kurzes Signal,
3. kein Signal.

Lösung 11/2

Da möglichst wenig L-Bits übertragen werden sollen und bei 2 bit nur die Zustände 00, 0L, L0 und LL auftreten können, muß gemäß der relativen Häufigkeit der Zeichen in der zu übertragenden Nachricht die Codierung

D = 00, B = 0L, C = L0 und A = LL

gewählt werden. B und C könnten auch vertauscht werden.

Lösung 11/3

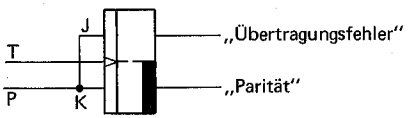
Im Mittel kommen unter 100 übertragenen Zeichen vor:

50 *D* (00),	Anzahl der L:	0,	Anzahl der 0: 100
20 *B* (0L),	Anzahl der L:	20,	Anzahl der 0: 20
20 *C* (L0),	Anzahl der L:	20,	Anzahl der 0: 20
10 *A* (LL),	Anzahl der L:	20,	Anzahl der 0: 0
		60	140

Entsprechend der relativen Häufigkeiten mit der die Zeichen auftreten, ergibt sich also ein Verhältnis von 6 : 14.

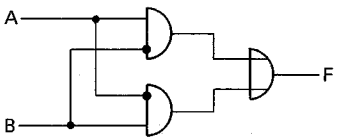
Lösung 11/4

zu a) Man könnte je L ein Flip-Flop umkehren. Bei gerader Anzahl von L-Signalen muß das Flip-Flop wieder in seinen Ausgangszustand zurückkehren:



zu b) Schaltfunktion: $F = (A \wedge \overline{B}) \vee (\overline{A} \wedge B)$.

Schaltung:



Lösung 11/5

Da von den $2^4 = 16$ Möglichkeiten nur 10 ausgenutzt werden, kann in den Fällen, in denen eines der nicht verwendeten Bit-Muster – eine sog. Pseudotetrade – erzeugt wurde, sofort auf Fehler erkannt werden.

Lösung 11/6

Man spricht von Redundanz, wenn nicht alle möglichen Bitkombinationen eines Codes zur Informationsverschlüsselung verwendet werden.

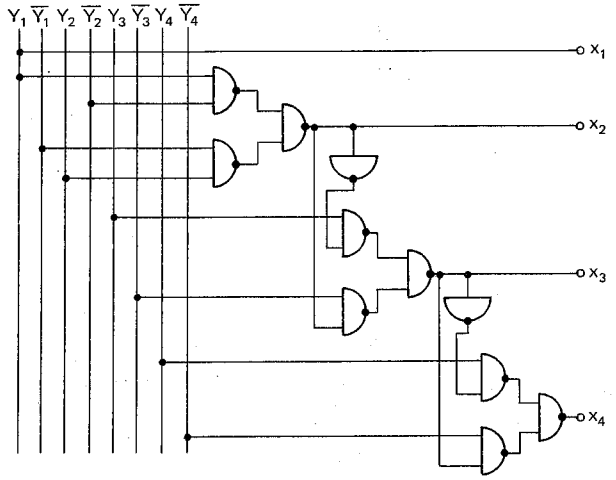
Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt EV (DFVLR)
Forschungszentrum Braunschweig
Zentralbibliothek
33 Braunschweig, Flughafen

Lösung 11/7

Die Umformung in NAND sei anhand von X_2 gezeigt:

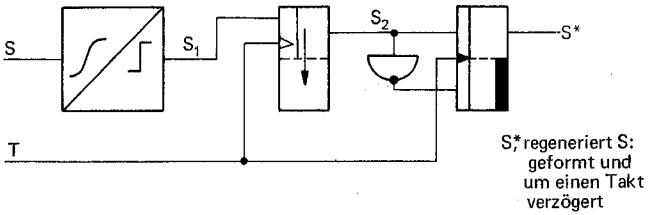
$$X_2 = (Y_2 \wedge \overline{Y}_1) \vee (\overline{Y}_2 \wedge Y_1)$$
$$= \overline{\overline{(Y_2 \wedge \overline{Y}_1) \vee (\overline{Y}_2 \wedge Y_1)}}$$
$$= \overline{\overline{(Y_2 \wedge \overline{Y}_1)} \wedge \overline{(\overline{Y}_2 \wedge Y_1)}}$$

Da $\overline{Y}_1$ und $\overline{Y}_2$ verfügbar sind, kann die letzte Formel mittels NAND realisiert werden. Die vollständige Schaltung ist in dem untenstehenden Bild gezeigt.



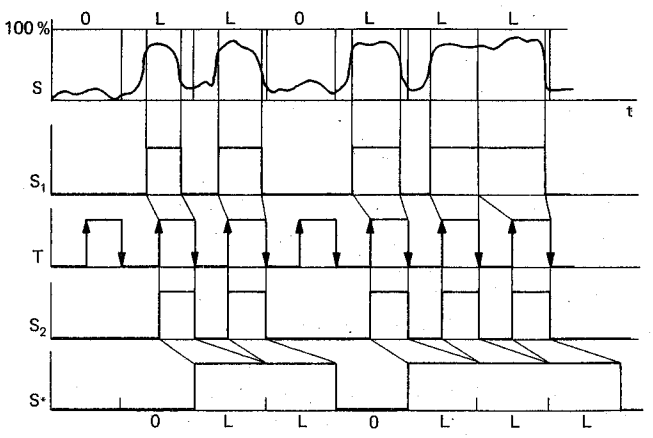
Codeumsetzer von Gray- in Dual-Code.

zu b)



Erläuterung:
1. Der Schwellwertschalter ergibt ein Signal S_1, das die Sollwerte von L und 0 einstellt, aber dem Zeitraster nicht angepaßt ist. Durch S_1 wird das Monoflop vorbereitet.
2. Die Vorbereitungszeit des Monoflops braucht nicht größer zu sein als 1/6 der Taktzeit: von 1/3 bis 1/2 eines Taktintervalls. Dann kann es, von S_1 sofern gleich L, vorbereitet, durch steigende *T*-Flanke zur Mitte eines Taktintervalls gesetzt werden.
3. Das Monoflop verlängert eine evtl. L von S_1 bis zu Beginn des nächsten Taktintervalls: Verweilzeit = 1/2 Taktintervall. Das Ausgangssignal S_2 des Monoflops dient zur Vorbereitung des Flip-Flops, das mit fallender *T*-Flanke gesetzt oder rückgestellt wird. Am Ausgang des Flip-Flops entsteht ein Signal *S**, das – um eine Taktzeit verzögert – die vollständige Regeneration der *S*-Impulse darstellt.

zu c)



Lösung 11/8

zu a) 1. 0-Signal: Pegel höchstens 33% Sollwert von L.
2. L-Signal: Pegel während *des inneren Drittels* der Taktzeit nicht unterhalb *66% des Sollwertes.*

Kapitel 12

Lösung 12/1

Zu a) 480 000 Schritte je Minute.
Zu b) 8000 Schritte je Sekunde.
Der Impulsgeber muß also eine Impulsfrequenz von 8000 Hz liefern.

Lösung 12/2

Die inkrementale Wegmeßeinrichtung ist im Sinne der Signalumformung ein Analog/Digital-Umsetzer. Die analoge Größe „zurückgelegter Weg" (Länge) wird digital signalisiert.

Lösung 12/3

Die Verfahrzeiten lassen sich nach der einfachen Beziehung $t = \frac{s}{v}$ ermitteln (t = Zeit, s = Weg, v = Geschwindigkeit).

Verfahrzeit im Eilgang: $t_e = \frac{258\ \text{mm}}{4\,000\ \text{mm/min.}} = 0{,}0645\ \text{min.}$

Verfahrzeit im Mittelgang: $t_m = \frac{1{,}8\ \text{mm}}{40\ \text{mm/min.}} = 0{,}045\ \text{min.}$

Verfahrzeit im Schleichgang: $t_s = \frac{0{,}2\ \text{mm}}{4\ \text{mm/min.}} = 0{,}05\ \text{min.}$

$t = t_e + t_m + t_s = 0{,}1595\ \text{min.}$

Lösung 12/4

zu a) Folgende Signale stehen auf L: $U_1, U_4, U_5, V_1, V_2, V_3, Z$.
zu b) Folgende Signale stehen auf L: U_4, U_5, V_2, V_3.
zu c) $V_1 = U_1 \vee U_2 = (\overline{S}_3 \wedge \overline{I}_3) \vee (S_3 \wedge I_3)$ (Äquivalenz).
V_1 hat den Wert L, wenn S_3 und I_3 denselben Wert haben. Z hat den Wert L, wenn Soll- und Istwert stellenweise übereinstimmen.

Lösung 12/5

Weginformationen für Bewegungen in der X- und Y-Achse. Die übrigen Informationen werden über andere Eingabeelemente eingegeben.

Lösung 12/6

Im 7-Bit-Code lassen sich $2^7 = 128$ verschiedene Zeichen ausdrücken.

Lösung 12/7

Nach dem Code für 8-Spur-Lochstreifen bedeutet die Signalkombination 00L0L 0LL das Zeichen „+".

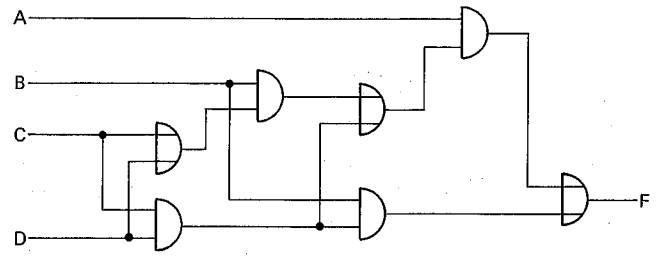
Lösung 12/8

In diesem Fall ist zumindest eine Streckensteuerung notwendig; denn das Werkzeug ist während der Verfahrbewegung in Richtung einer Koordinate im Einsatz.

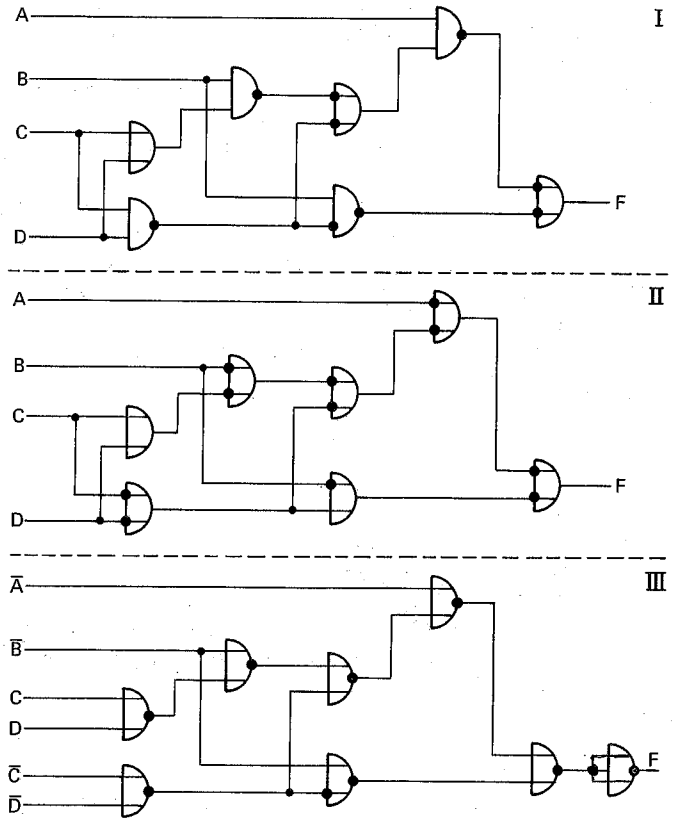
Lösung 12/9

zu a) $F = (A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge D) \vee (A \wedge C \wedge D) \vee (B \wedge C \wedge D)$.
zu b) $F = A \wedge [B \wedge (C \vee D) \vee (C \wedge D)] \vee [B \wedge (C \wedge D)]$.

zu c)



zu d)



Lösung 12/10 !

zu a) Das Meßlineal müßte bei 1 m Länge und einer Meßgenauigkeit von 0,01 mm insgesamt 100 000 Striche haben. Die Strichbreite betrüge die Hälfte eines Strichabstandes, also 0,005 mm.

zu b) Um bis 131 071 = $2^{17} - 1$ dual zu zählen, benötigt man 17 binäre Stellen, bis 65 535 = $2^{16} - 1$ reichen 16 binäre Stellen. Also würde man 17 duale Stellen für 100 000 bereitstellen müssen. Dieser Wert ergibt sich auch, wenn man ausgehend von 99 999 nur 5 dezimale Stellen ansetzt und mit 3,32 multipliziert. Man erhält 5 · 3,32 = 16,6 aufgerundet 17.

zu c) Eine Vollumdrehung der Spindel bzw. der volle Umfang des Meßkreises auf der Codescheibe entspricht einer Schlittenbewegung von 4 mm.
Umfang des Meßkreises: 10 cm · 3,14 = 31,4 cm = 314 mm.
Umrechnungsfaktor: 314 : 4 = 78,5.
Also entspricht einer Schlittenbewegung von 0,01 mm ein *Teilstück des Meßkreises von 0,785 mm.*

zu d) Eine Vollumdrehung entspricht 4 mm = 400 Meßschritte (1 Meßschritt = 0,01 mm). Bis 255 benötigt man 8 bit, bis 511 sind es 9 bit. Also bräuchte man auf dem Meßkreis neun Spuren.

zu e) Unter ausschließlicher Verwendung einer Codescheibe wäre eine absolute Wegmessung nicht möglich, da nach jeweils 4 mm Schlittenbewegung die Codescheibe die gleiche Winkelstellung einnimmt. Man müßte also zumindest die vollen Umdrehungen inkremental messen.

zu f) Sie wäre unbedingt sinnvoll, da Störungen der Messung vor allem die Feineinstellung des Schlittens betreffen. Solche Störungen wären mittels einer neunspurigen Codierung auf dem Meßkreis praktisch auszuschließen.

zu g)
Vorteile der indirekten Meßwerterfassung:
1. Probleme der Strichdicke auf dem Meßkreis entfallen.
2. Die Meßapparatur ist vergleichsweise klein.
3. Die Meßapparatur kann an einer gegenüber dem maschinellen Arbeitsprozeß geschützten Stelle untergebracht werden (Verschmutzung!).

Nachteile der indirekten Meßwerterfassung:
1. Geringere Genauigkeit infolge des Spiels der Spindel und ihrer Verformungen.
2. Das Meßverfahren ist zumindest teilweise inkremental.

Kapitel 13

Lösung 13/1

Kommerzielle Datenverarbeitung: Datenmenge.
Technisch-wissenschaftliche Berechnungen: Rechenprozeß.
Prozeßsteuerung: Reaktionszeit.

Lösung 13/2

Da sich durch die Addition der Inhalt der Speicherzelle 3075, nämlich LLL ≙ 7, nicht geändert hat, wird diese Zahl durch die Subtraktion vom jetzigen Inhalt des Akkumulators, nämlich LL00 ≙ 12, abgezogen. Anschließend steht im Akkumulator also L0L ≙ 5.

Lösung 13/3

zu a) Wesentliche Bestandteile eines Befehls sind
Operationsteil: Festlegung der auszuführenden Operation,
Adreßteil: Festlegung des bzw. eines Operanden für diese Operation.

zu b) Das Leitwerk steuert sämtliche Teilwerke (Globalsteuerung), die Operationensteuerung nur das Rechenwerk (Detailsteuerung). Die Operationensteuerung erhält ihre Aufträge, z. B. „Addiere", vom Leitwerk.

Lösung 13/4

zu a) Im dritten Schleifendurchlauf würde bei der Ausführung des Verzweigungsbefehls statt der 11 bereits eine Null im Akkumulatorregister stehen. Es würde daher nach 8009 verzweigt und die zu diesem Zeitpunkt in der Speicherzelle 7000 stehende Zahl 30 gedruckt.

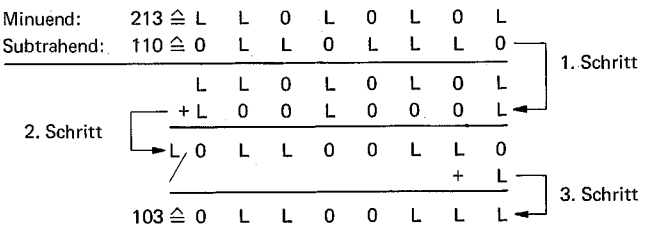
zu b) Beim vierten Durchlauf würde bei der Ausführung des Verzweigungsbefehls statt einer Null die Zahl 19 im Akkumulatorregister stehen. Es würde daher nicht verzweigt werden. Statt dessen würde 19 zum derzeitigen Inhalt der Speicherzelle 7000, nämlich der Zahl 41, zuaddiert werden; neuer Inhalt wäre 60. Beim nächsten Schleifendurchlauf würde dann der Verzweigungsbefehl wegen der Null im Akkumulator nach 8009 führen. Die Zahl 60 aus der Speicherzelle 7000 würde dann gedruckt werden.

zu c) Die Schleife würde 100mal voll durchlaufen, und dabei würde die Summe der hundert Zahlen 13 in Speicherzelle 7000 gebildet werden. Beim 101. Durchlauf würde der Verzweigungsbefehl die Schleife aussteuern; es würde die Zahl 1300 gedruckt werden.

Lösung 13/5

zu a) Die fehlenden Zwischensummen lauten von rechts nach links der Reihe nach: 0L, L0, LL und 0L.

zu b)



Lösung 13/6

S hat nur den Wert L, wenn *A* ungleich *B* ist.
U hat nur den Wert L, wenn $A = B = L$ ist.

Lösung 13/7

	A	*B*	*C*	*U*	*S*
Zweierstelle:	L	L	0	L	0
Vierstelle:	L	L	L	L	L
Achterstelle:	L	0	L	L	0

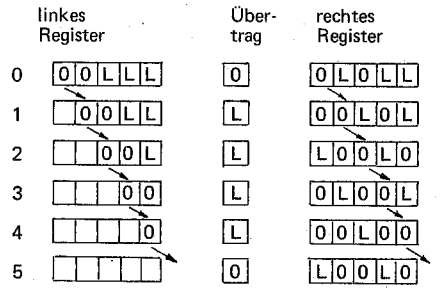
Lösung 13/8

$C_3 = L$ $C_2 = L$ $C_1 = 0$.
$U_3 = 0$ $U_2 = L$ $U_1 = L$ $U_0 = 0$.
$S_3 = L$ $S_2 = L$ $S_1 = 0$ $S_0 = L$.

Lösung 13/9

Wenn zwei Summenstellen im Ergebnisregister stehen, sind zwei Stellen in den Summandenregistern frei geworden. Bei drei Summenstellen im Ergebnisregister sind drei Stellen in den Summandenregistern frei geworden (vgl. Bild 13/21).

Lösung 13/10



Lösung 13/11

Parallel: schnell, hoher Aufwand.
Seriell: langsam, geringer Aufwand.

15. Normbezeichnungen und Symbole im internationalen Vergleich

15.1 Die Bezeichnung der Logikzustände (0-L) und Logikpegel („L"-„H") im Vergleich

Zur Kennzeichnung der Logikzustände werden im Fachschrifttum die Bezeichnungen 0 und 1, bzw. 0 und L verwendet. Daneben trifft man in neueren Veröffentlichungen immer häufiger auf die Bezeichnungen „L" und „H". Diese unterschiedlichen Benennungen stiften häufig Verwirrung, daher hier einige Anmerkungen:

Die Bezeichnung 0 und 1 bzw. 0 und L entstammen ursprünglich der reinen binären Logik – sie beschreiben, bezogen auf eine Aussage (Variable), die Zustände, „unwahr" bzw. „wahr".

Will man die Logikzustände technisch realisieren, so bedarf es einer eindeutigen Zuordnung von Logikwert und physikalischer Größe. Z.B. können in elektrischen Systemen bestimmte Spannungswerte zugeordnet werden, s. Bild 15/1 a) bis c).

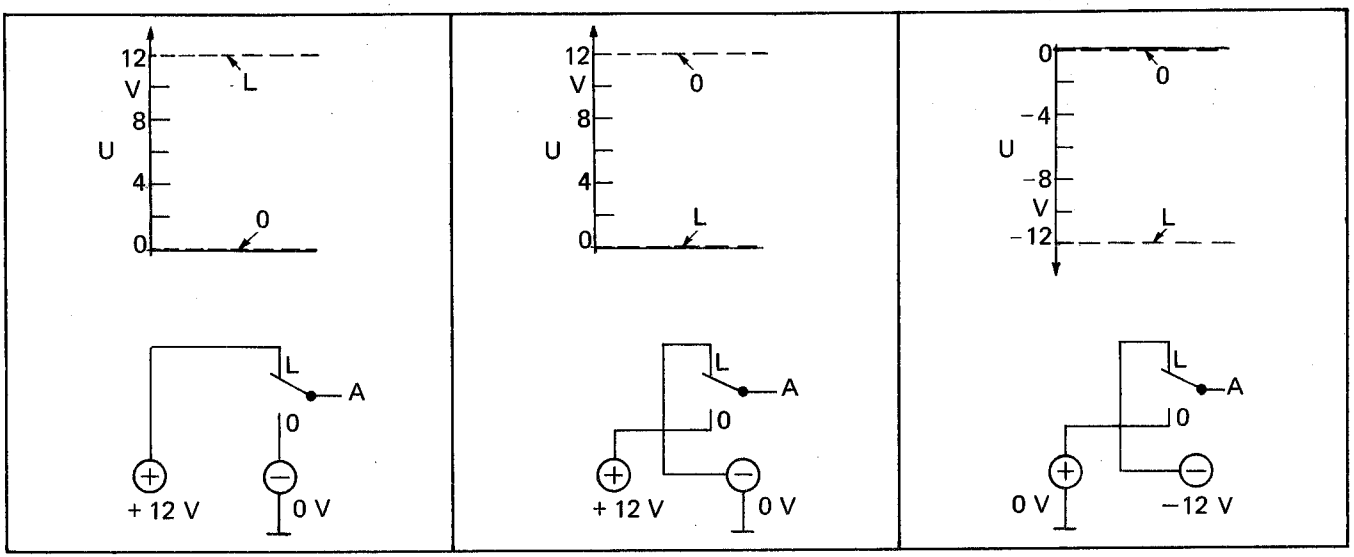


Bild 15/1 a). log 0 ≙ 0 V.
log L ≙ + 12 V.
(positive Logik)

Bild 15/1 b). log 0 ≙ + 12 V.
log L ≙ 0 V.
(negative Logik)

Bild 15/1 c). log 0 ≙ 0 V.
log L ≙ −12 V.
(negative Logik)

In Bild 15/1 a) ist definiert: 0-Signal entspricht 0 V und L-Signal entspricht 12 V.

In Bild 15/1 b) ist demgegenüber dem 0-Signal der Spannungswert 12 V und dem L-Zustand der Wert 0 V zugeordnet. Eine ähnliche Zuordnung zeigt Bild I c), 0 V entspricht 0-Signal, dafür liegt L-Signal bei – 12 V.

Dieses Zuordnungsverfahren ist an sich ohne weiteres in allen elektronischen Systemen anwendbar (vgl. Schaltungen in Bild 15/1 a) bis c).) Dabei ergibt sich jedoch die Schwierigkeit, daß einmal dem L-Signal der Pluspol zugeordnet ist (Bild 15/1 a) und ein andermal, je nach Definition, der Minuspol (Bild 15/1 b und c); man spricht dann in diesem Zusammenhang auch von positiver (a) und negativer Logik (b und c). Diese Unterscheidung hat in der Praxis viel Verwirrung gestiftet. Um dem aus dem Wege zu gehen, hat man, insbesondere bei der Anwendung von digitalen integrierten Schaltkreisen, die neuen Bezeichnungen „H" und „L" eingeführt. Es sind die Anfangsbuchstaben der englischen Wörter High (hoch) und Low (niedrig). Sie nehmen Bezug auf die elektrischen Potentiale. Nach DIN 41 785 Blatt 4 liegen die Werte des „H"-Bereiches näher bei Spannungswerten von +∞ und die des „L"-Bereiches näher bei −∞ Volt (Bild 15/2).

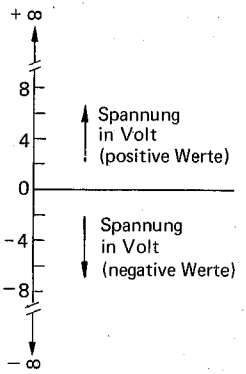


Bild 15/2. Definition der Logikpegel nach DIN 41 785.

Unsere Beispiele, Bild 15/3, verdeutlichen diese abstrakte Definition. Daraus ist ersichtlich, daß der „H"-Wert immer dem positiveren Potential im elektrischen System und der „L"-Wert dem negativeren Potential zugeordnet wird. Die Überführung von dem einen (0-L)- in das andere („L"-„H") -System ist relativ einfach, wenn man sich streng an diese Potentialzuordnung hält. Bild 15/4 zeigt, wie die drei Beispiele von Bild 15/1 in der „L"-„H"-Zuordnung benannt werden.

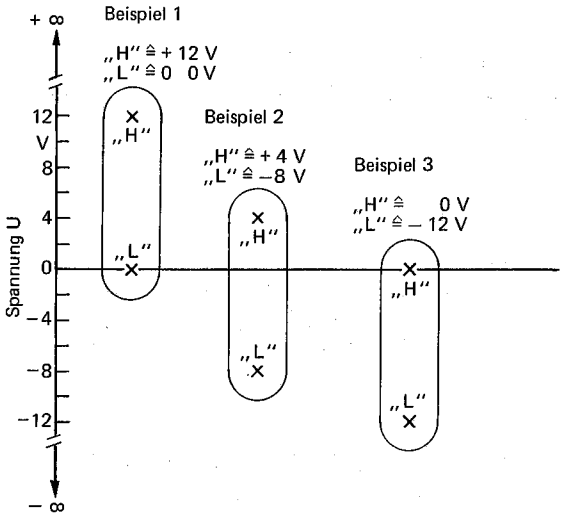


Bild 15/3. Beispiele für die Zuordnung von Logikpegeln (L-H) zu elektrischen Potentialen.

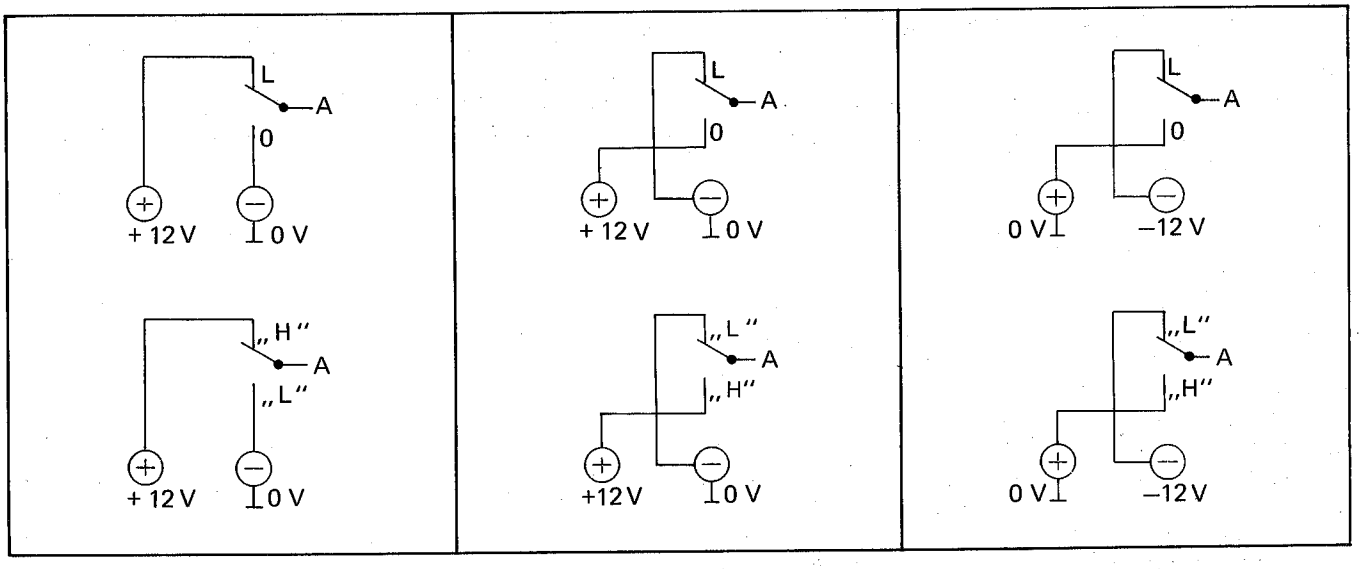


Bild 15/4 a). log 0 ≙ „L" – Pegel
log L ≙ „H" – Pegel.

Bild 15/4 b). log 0 ≙ „H" – Pegel
log L ≙ „L" – Pegel.

Bild 15/4 c). log 0 ≙ „H" – Pegel
log L ≙ „L" – Pegel.

In Bild 15/4a) entspricht dem H-Zustand +12 V und dem L-Zustand 0 V, d.h. aus log L wird der Logikpegel „H" und aus log 0 wird der Pegel „L".

In Bild 15/4 b) entspricht dem „H"-Zustand wiederum 12 V und der „L"-Pegel behält den Wert 0 V. Allerdings ergibt sich bei der Zuordnung von Logikwerten im (0-L)-System und den Pegeln des (L-H)-Systems eine Änderung; log 0 wird jetzt „H" zugeordnet und log L erhält „L"-Pegel.

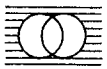
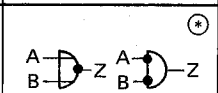
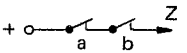
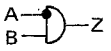
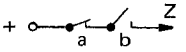
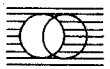
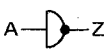
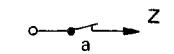
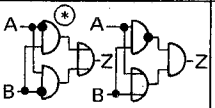
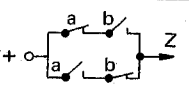
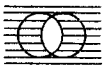
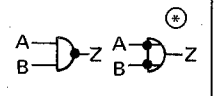
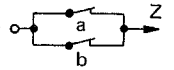
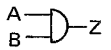
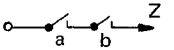
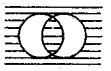
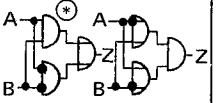
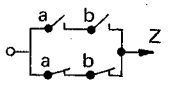
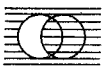
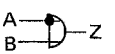
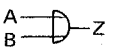
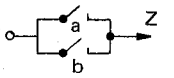
Bild 15/4 c) zeigt den 3. Fall. 0 V entspricht „H"-Pegel, und -12 V entspricht „L"-Pegel, d.h. log 0 erhält den „H"-Pegel und log L den „L"-Pegelwert.

Ganz allgemein gilt:

negative Logik: unwahr ≙ log 0 ≙ „H",
wahr ≙ log L ≙ „L".
positive Logik: unwahr ≙ log 0 ≙ „L",
wahr ≙ log L ≙ „H";

15.2 Übersicht der wichtigsten logischen Funktionen von zwei Variablen

Tabelle 15/1. Darstellung und übliche Bezeichnungen.

Bezeichnung der logischen Funktion	Funktionstabelle	Punktmengendarstellung (A B)	mathematische Schreibweise (Schaltalgebra)	Schaltzeichen bzw. Schaltplan nach DIN 40700	Realisierung mit mechanischen Kontakten bzw. Relais[2])	ändere im Schrifttum benutzte Symbole
NOR Nicht-ODER Weder-Noch	A B Z 0 0 L L 0 0 0 L 0 L L 0		$\overline{A \vee B} = \bar{A} \wedge \bar{B}$			A ⊽ B
Inhibition[1]) (A inhibiert B)	A B Z 0 0 0 L 0 0 0 L L L L 0		$\bar{A} \wedge B$			B ⇐ A B ⇍ A
NICHT Negation, Not, Umkehrung, Inversion	A B Z 0 0 L L 0 0 0 L L L L 0		$\bar{A}$			A', $\tilde{A}$, ¬A
Antivalenz exklusiv-ODER EX-OR XOR	A B Z 0 0 0 L 0 L 0 L L L L 0		$(\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B})$ $= (\overline{\bar{A} \wedge \bar{B}}) \wedge (A \vee B)$			A ⊻ B A ≁ B
NAND Shefferfunktion	A B Z 0 0 L L 0 L 0 L L L L 0		$\overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B}$			A | B
UND Konjunktion AND	A B Z 0 0 0 L 0 0 0 L 0 L L L		$A \wedge B$			A∧B A·B A & B A∩B
Äquivalenz Bijunktion	A B Z 0 0 L L 0 0 0 L 0 L L L		$(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$ $= (\bar{A} \vee B) \wedge (A \vee \bar{B})$			A ∼ B A ≡ B
Implikation[1]) (A impliziert B) Subjunktion	A B Z 0 0 L L 0 0 0 L L L L L		$\bar{A} \vee B$			A → B A ⊃ B
ODER Disjunktion OR	A B Z 0 0 0 L 0 L 0 L L L L L		$A \vee B$			A + B A ∪ B

[1]) Es gibt eine weitere Funktion, in der die Rollen von A und B vertauscht sind.

[2]) Für Funktionen, bei denen zwei Schaltpläne möglich sind, sind hier die, welche mit dem Zeichen ⊛ versehen sind, in Relaistechnik realisiert worden.

15.3 Schaltzeichen nach bisheriger deutscher Norm (DIN 40 700) und nach der Norm der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC 117-15)

Die Tabellen 15/2 bis 15/4 stellen die grundlegenden Schaltsymbole nach DIN 40 700 und IEC 117-15 nebeneinander. Die deutsche Norm wird im deutschsprachigen Schrifttum über die Digitaltechnik ziemlich einheitlich benutzt. Allerdings ist z.Z. eine Überarbeitung von DIN 40 700 im Sinne einer Anpassung an die seit 1972 erfolgten Festlegungen gemäß IEC 117-15 im Gange. Es wird allerdings Jahre brauchen, bis alle Druckschriften auf eine geänderte Norm umgestellt sind. Aus diesem Grunde wurde die bisherige deutsche Norm in diesem Buch beibehalten und die Gegenüberstellung mit der internationalen, die wahrscheinlich als künftige deutsche Norm weitgehend oder ganz übernommen werden wird, in diesen Anhang verlegt.

Tabelle 15/2. Verknüpfungsglieder.

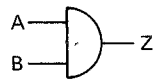
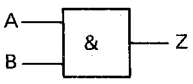
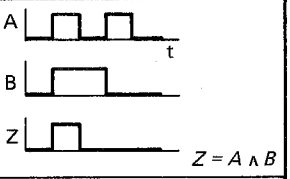
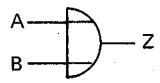
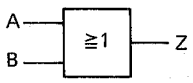
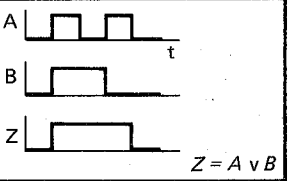
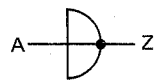
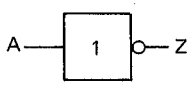
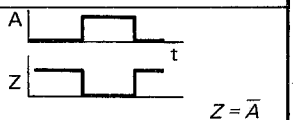
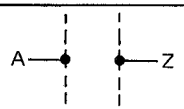
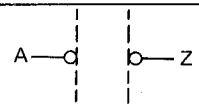
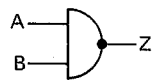
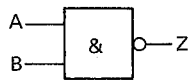
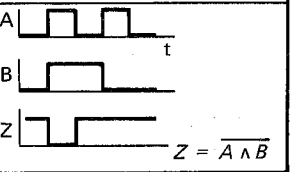
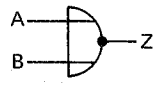
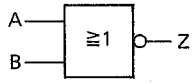
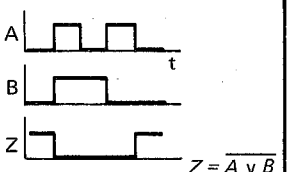
DIN 40700 bisherige Norm	IEC 117-15	Beschreibung	Signal-Zeit-Plan, Formel
		**UND-Glied** Der Ausgang Z führt nur L, wenn beide Eingänge A und B mit L beaufschlagt sind	
		**ODER-Glied** Der Ausgang Z führt L, wenn mindestens ein Eingang A oder B mit L beaufschlagt ist	
		**NICHT-Glied** Der Ausgang Z führt L, wenn am Eingang A eine 0 anliegt und umgekehrt	
		**NEGATION, allgemein** Das Eingangssignal A wird negiert der nachfolgenden Funktion zugeführt, deren Ergebnis wieder umgekehrt den Wert von Z ergibt	
		**NAND-Glied** Der Ausgang Z führt nur 0-Signal, wenn beide Eingänge A und B mit L beaufschlagt sind	
		**NOR-Glied** Der Ausgang Z führt 0-Signal,wenn mindestens ein Eingang A oder B mit L beaufschlagt ist	

Tabelle 15/3. Zeitglieder.

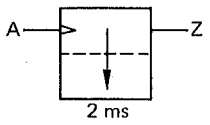
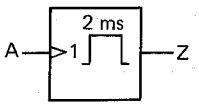
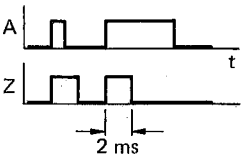
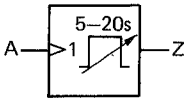
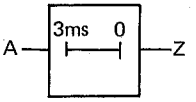
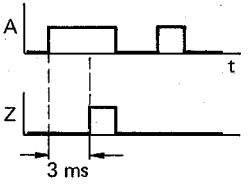
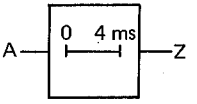
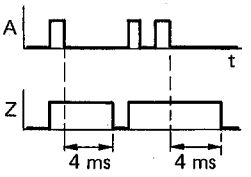
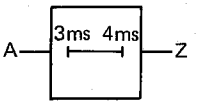
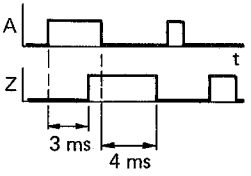
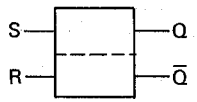
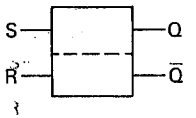
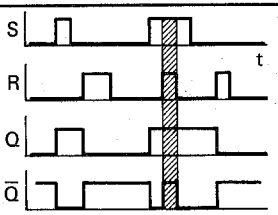
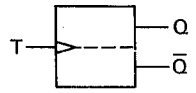
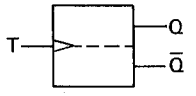
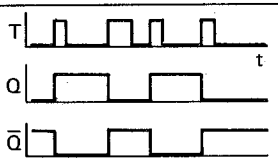
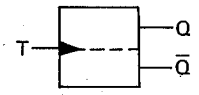
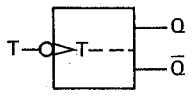
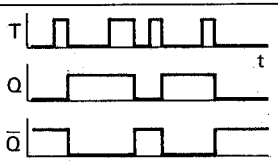
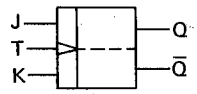
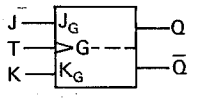
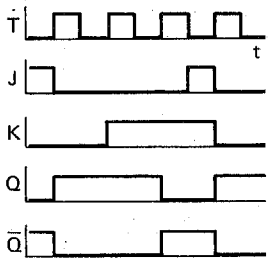
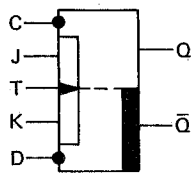
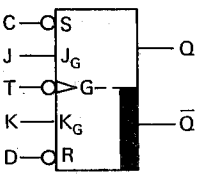
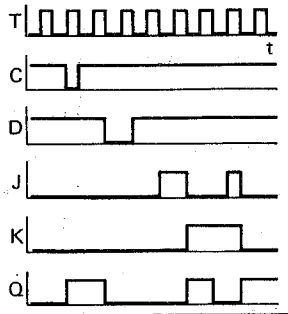
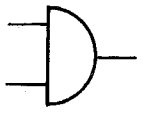
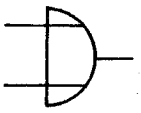
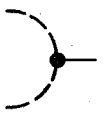
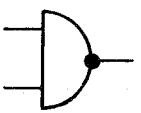
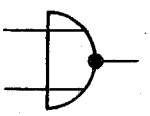
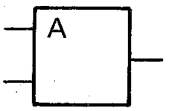
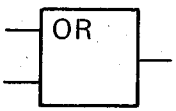
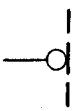
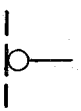
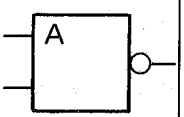
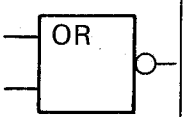
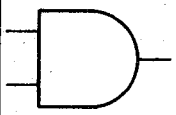
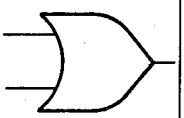
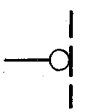
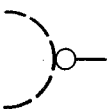
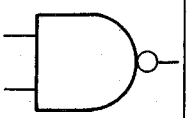
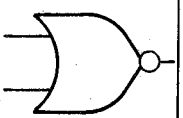
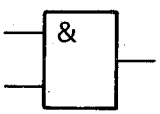
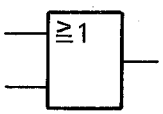
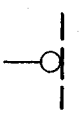
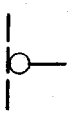
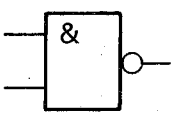
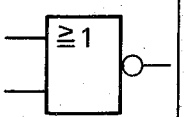
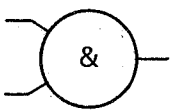
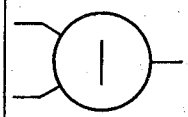
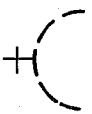
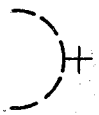
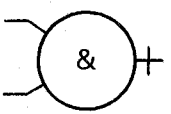
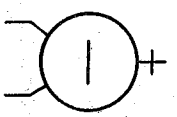
DIN 40700 bisherige Norm	IEC 117-15	Beschreibung	Signal-Zeit-Plan
		**Monostabiles Kippglied** (Monoflop) Der Ausgang Z nimmt den Wert L an, wenn der Eingang A auf L geht. Die Dauer von Z = L ist 2 ms, unabhängig von der Dauer von A = L	
		**Monostabiles Kippglied mit einstellbarer Verweilzeit** Entsprechend voriger Schaltung. Die Dauer von Z = L kann zwischen 5 und 20 s reguliert werden	
		**Einschaltverzögerung** Nachdem A 3 ms lang auf L gestanden hat, geht Z auf L und fällt mit A wieder zurück auf 0	
		**Ausschaltverzögerung** Z geht mit A auf L, bleibt aber noch 4 ms lang auf L stehen, wenn A auf 0 zurückfällt	
		**Ein- und Ausschaltverzögerung** Z geht 3 ms nach A auf L und fällt 4 ms nach A auf 0 zurück	

Tabelle 15/4. Speicherglieder.

DIN 40700 bisherige Norm	IEC 117-15	Beschreibung	Signal-Zeit-Plan
 R-S-Flip-Flop		**R-S-Kippglied** Bei L auf Eingang S geht Q auf L, bei L auf Eingang R geht Q auf 0-Signal, $\overline{Q}$ ist Negation von Q Die Eingangssignalkombination R = S = L ist verboten, vgl. Schraffur im Signal-Zeit-Plan	
		**T-Kippglied** (Binärteiler) Wenn T am Eingang einen 0-L-Wechsel ausführt, wird der Wert von Q umgekehrt	
		**T-Kippglied mit negiertem Eingang** Wie vorige Schaltung mit L-0-Wechsel statt 0-L-Wechsel	
 J K-Flip-Flop	 **Anmerkung:** Index G bei J und K zeigt an, daß G der zu den vorbereitenden Eingängen gehörige Kommandoeingang ist	**JK-Kippglied** Eine Zustandsänderung kann nur eintreten, wenn nach hinreichend langer Vorbereitung auf Setzen (J = L, K = 0), Rückstellen (J = 0, K = L) oder Umkehren (J = K = L) auf den Kommandoeingang ein 0-L-Signalwechsel von T kommt	
 K-Flip-Flop	 vgl. Anmerkung bei voriger Schaltung	**JK-Kippglied** mit negiertem Kommandoeingang (L-0-Wechsel löst aus) und zusätzlichen negierten statischen Eingängen. Beim Einschalten ergibt sich die Grundstellung $\overline{Q}$ = L, Q = 0 Mit C = 0 wird Q = L, mit D = 0 wird Q = 0; C = D = 0 ist verboten. J und K wirken wie in voriger Schaltung, nur wird mit L-0-Signalwechsel bei T ausgelöst.	

15.4 Darstellung logischer Verknüpfungen im internationalen Vergleich

	UND	ODER	Negation am Eingang	Negation am Ausgang	NAND	NOR
DIN 40700						
ASA[1]) (Variante 1)						
ASA[1]) (Variante 2)						
Entwurf IEC 117-15						
BS[2])						

[1]) American Standards Association (USA-Norm) [2]) British Standards

16. Schrifttum

16.1. Einführendes Schrifttum

	zu Kapitel
Dokter, F., u. J. Steinhauer: Digitale Elektronik in der Meßtechnik und Datenverarbeitung. Theoretische Grundlagen und Schaltungstechnik. Bd. I. Hamburg: Philips Fachbücher, Deutsche Philips GmbH 1972.	1, 2, 3, 5, 6, 9
Dokter, F., u. *J. Steinhauer:* Digitale Elektronik in der Meßtechnik und Datenverarbeitung. Anwendungen der digitalen Grundschaltungen und Gerätetechnik. Bd. II. Hamburg: Philips Fachbücher, Deutsche Philips GmbH 1970.	3, 8, 9, 10, 11, 13
Eddelbüttel u. *Wölfing:* Kontaktlose Signalverarbeitung. Köln: Stam 1970.	4, 7
Janning, W.: Elektronische Steuerungen. Essen: Girardet 1968.	4
Häberle, H., u. a.: Elektronik. Industrieelektronik. 2. Tl. Wuppertal: Europa Lehrmittel Verl. 1970.	4, 10
Pütz, J. (Hrsg.): Einführung in die Elektronik. 4. Aufl. Köln: Verl. Schulfernsehen 1974.	1, 2, 4, 5, 6
Siegfried, H.J.: Leitfaden der elektronischen Steuerungs- und Regelungstechnik. Elektronische Steuerungstechnik. Tl. I. München: Franzis-Verl. 1972.	4, 6
Ulrich, D.: Grundlagen der Digitalelektronik und digitalen Rechentechnik. München: Franzis-Verl. 1973.	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13
Weber, W.: Einführung in die Methoden der Digitaltechnik. Berlin: Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, AEG-Telefunken 1970.	1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11
Weyh, U.: Elemente der Schaltungsalgebra. 7. Aufl. München: Oldenbourg-Verl. 1972.	2, 3, 5
Weyh, U.: Aufgaben zur Schaltungsalgebra. München: Oldenbourg-Verl. 1970.	2, 3, 5
Wolters, F.M.: Der Schlüssel zum Computer. (Programmierte Unterweisung) Hamburg: Rowohlt Taschenbuchserie, 6 Bände 1974.	13
Handbuch der Elektronik: Digitaltechnik. Tl. 2. 2. Aufl. Bremen: Institut zur Entwicklung moderner Unterrichtsmedien e. V. 1971.	4, 5, 6, 8, 9, 13
Handbuch der Elektronik: Datenverarbeitung: Technik und Betrieb. Tl. 3. Bremen: Institut zur Entwicklung moderner Unterrichtsmedien 1972.	13
Programmierte Unterweisung in Digitaltechnik. Hrsgg. v. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf: VDI-Verl. 1975.	1, 2, 3

16.2. Weiterführendes Schrifttum

	zu Kapitel
Anke, K., H. Kaltenecker u. *R. Oetker:* Prozeßrechner. Wirkungsweise und Einsatz. 2. Aufl. München, Wien: Oldenbourg-Verl. 1971.	13
Bartsch, W.: Numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen. Braunschweig: Georg Westermann 1972.	12
Bertram, U.: Hochintegrierte digitale Schaltungen. Hamburg: VALVO 1968.	4
Davies, D. W.: Digitaltechnik. München: Oldenbourg-Verl. 1966.	2, 3
Dworatschek, S.: Einführung in die Datenverarbeitung. 5. Aufl. Berlin: Verl. de Gruyter 1973.	13
Fasol, Hübl u. *Vingron:* Statische pneumatische Logiksysteme. Stuttgart: Kohlhammer u. Berliner Union 1972.	4
Fuchs, H., u. L. Könitzer: Digitale Meßwerterfassung. Bd. 45 aus der Reihe „Automatisierungstechnik". Berlin: VEB-Verl. Technik 1966.	1, 12
Föllinger, O., u. W. Weber: Methoden der Schaltalgebra. München: Oldenbourg-Verl. 1967.	2, 3
Groh, H., u. *W. Weber:* Digitaltechnik I. Elemente der mathematischen Entwurfsverfahren; T 3. Düsseldorf: VDI-Verl. 1969.	1, 5, 6
Seifert, W.: Digitaltechnik II. Schaltelemente; T 4. Düsseldorf: VDI-Verl. 1969.	1, 7
Kussl, V.: Digitaltechnik III, Steuerungstechnik mit elektronischen Funktionselementen; T 5. Düsseldorf: VDI-Verl. 1970.	1, 3, 6, 7
Graf, A.: Messung der Schwingungszeit von Pendeln mit einer modernen Zeitmeßeinrichtung. München: Rhode & Schwarz 1972/73	10
Hänisch, W., H. Prögler u. *F. Hillebrand:* Digitale Systeme. München: Franzis-Verl. 1973.	1, 8, 11, 13
Heim, K.: Schaltungsalgebra. 4. Aufl. München: Siemens AG 1973.	2, 11
Heller, E., u. *S. Roth:* Siemens Systeme 300 für Prozeßautomatisierung. Zentraleinheiten. Bd. I. Peripheriegeräte. Bd. II. Berlin, München: Siemens AG 1971.	13
Helm, L., u. *J. Marton:* Einführung in die Fluidik. München: Oldenbourg-Verl. 1971.	4
Hemming, W.: Steuern mit Pneumatik. Kreuzlingen/Schweiz: Archimedes 1970.	4
Hofer, W.: Datenfernverarbeitung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verl. 1973.	11
Hoffmann, M.: Datenfernverarbeitung. Berlin: Verl. Walter de Gruyter 1973.	11

	zu Kapitel
Kunsemüller, H.: Digitale Rechenanlagen. Eine Einführung in Struktur, Aufbau und Arbeitsweise. Stuttgart: Teubner-Verl. 1971.	8, 13
Lange, H.: Elektronische Digitalrechner. 3. Aufl. Stuttgart: Telekosmos 1969.	13
Lehnert, J.: Einführung in die Fernschreibtechnik. München: Siemens AG 1968.	11
Pelka, H.: Vom Flip-Flop zur Quarzuhr. RP-Bd. 340. München: Franzis-Verl. 1973.	10
Phister jr., M.: Logical design of digital computers. 7. Aufl. London: Wiley & Sons 1963.	2, 3
Rechenberg, P.: Grundzüge digitaler Rechenautomaten. 2. Aufl. München, Wien: Oldenbourg-Verl. 1968.	13
Reiß, K., u.a.: Integrierte Digitalbausteine. Berlin, München: Siemens AG 1970.	1, 3, 5, 6, 9, 10
Siegfried, H.J.: Leitfaden der elektronischen Steuerung und Regelungstechnik. Bd. I. München: Franzis-Verl. 1972.	12
Siemens AG (Hrsg.): Halbleiter-Schaltbeispiele. Integrierte Schaltungen. München: Siemens AG 1971/72.	7
Siemens AG (Hrsg.): Steuerungen und Antriebe zur Automatisierung von Werkzeugmaschinen. Beiheft Siemens-Z. 47. Jahrg. (1973).	12
Speiser, A.P.: Digitale Rechenanlagen. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verl. 1967.	13
Steinbuch, K., u. *W. Weber:* Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verl. 1967.	2, 11, 13
Stelzer, F.: Fluidisch gesteuerte automatische Rohrpost. Kerntechnik 15. Jahrg. (1973) Nr. 10.	4
Texas Instruments Deutschland GmbH (Hrsg.): TTL-Kochbuch. Freising: Texas Instruments 1972.	4
VDI-Bildungswerk (Hrsg.): Lehrgangshandbuch – Numerisch gesteuerte Maschinen. Düsseldorf: VDI-Bildungswerk, Fachgruppe Betriebstechnik 1973.	12
Wolf, G.: Digitale Elektronik. München: Franzis-Verl. 1972.	4
Lehrbuch der Automatisierungstechnik. (Autorenkollektiv) Basel: Pfalz-Verl. 1968.	1, 5, 6, 9
Ortmann, G.: Logik- und Fluidiksteuerungen. Hilden: Ortmann Verl. 1973	4
Rohrbach, C., u. N. Mayer: Handbuch für fluidische Meßtechnik. Düsseldorf: VDI-Verl. 1976.	4
Walcher, H.: Digitale Lagemeßtechnik. Düsseldorf: VDI-Verl. 1974.	4

17. Sachwortverzeichnis

A

Äquivalenz 115
Ablaufbefehl 333
Ablaufsteuerung 344, 346
Ablesegenauigkeit 5
Absolut-Wegmesseinrichtung 304
Addition, im dualen System 335
–, parallele 338
–, serielle 340
Additionssteuerung 346
Adresse 213, 331
–, aktuelle 214
–, tatsächliche 214
Adressteil 332
Aiken-Code 31
Aiken-Zähler 251
Akkumulator 332, 338
Alarmschaltung 166
Alphabet 26, 277
Alphadaten 325
Amplitude 8
Analog 3
–Meßgröße 5
–Signale 8
–Signalisierung 9
–Digital-Umsetzer 269, 329, 348
Analoge Anzeige 5
Analoge Darstellungsform 3
Analoges Signal 14
Analogie 8
Analogtechnik 3, 14
Analogvoltmeter 2, 4
Analogwaage 5
Analyse, schaltungstechnische 116
Ansteuerungsvarianten 154
Antivalenz 115
Anzeige des Zählerstandes 255
Anzeige einer Impulshöchstfrequenz 181
Anzeige, digitale 3
Anzeigeeinheit mit Speicher 263
Anzeigegenauigkeit 10
Arbeitsplan 308
Arbeitsprogramm für eine NC-Maschine 307
Asynchrone Impulszählung 229
Aufbau des dezimalen Zahlensystems 20
Aufbau des dualen Zahlensystems 21
Auflösungsvermögen 4
Ausführungen von Logikgliedern, technische 74
Ausgabe 329, 333
Ausgabebefehl 333
Ausgabeoperation 325
Ausgangsgröße 39
Ausgangslastfaktor 83
Ausgangsspeicher 160
Aussage, zweiwertige 38
Ausschaltverzögerung 187, 188
Automation 325
Automatischer Werkzeugwechsel 313
Automatisierungstechnik 6

B

Bahnsteuerung 318
Bandspeicher 329
BCD-Code 27, 31
–Zähler 251
Befehl 331, 332, 333, 334
–, arithmetischer 333
–, logischer 333
Befehlsadreßregister 334
Befehlsart 333

Befehlsfolge, sequentielle 334
Betriebssicherheit 347
Binär codiert 27
Binär-Untersetzer 156
Binärcode 30
Binäre Entscheidung 36
Binäre Variable 38
Binäres Element 28
Binäres Schaltungselement 28
Binäres Signal 9, 10, 12, 23, 134
Binäres Speicherglied 196, 164
Binäres Zählelement 23
Binärstelle 28
Binärwort 31
Binärzeichen 27
Binärzeichenkombination 28
Binary Digit 28
Bit 28
Bitfolge 283
Block 284
Boolesche Algebra 46
Boolesche Variable 38
Briefsortieranlage 32

C

Coanda-Effekt 100
Code 15, 24, 277
–Binär 30
–Scheibe 306
–Umsetzer in NAND 127
–Umsetzer in NOR 127
–, Aiken 31
–, *Gray* 32
–, *Hamming* 28
–, redundanter 28
–, stellenwertiger 31
–, 1-aus-10 28, 30
–, 2-aus-5 28, 32
–, 8-4-2-1 31
Codesystem 26
Codeumsetzer 291
Codeumsetzung 127, 128
Codierung 25, 277
Codierungsgesichtspunkt 26
Codierungsmöglichkeit 25
Computer 325
–, Einsatzbereich des 330
Computeroperation 328

D

D-Flip-Flop 153
Darstellgenauigkeit 5
Darstellung einer logischen Funktion im KV-Diagramm 64
Darstellungsmöglichkeit logischer Signale 79
Datei 330
Datenblock 285
Dateneingabe, parallele 206
Datenmenge 15
Datenquelle 283
Datensenke 283
Datenspeicher 326
Datenspeicherung 15
Datenträger 6
Datentransferbefehl 333
Datenübertragung 15, 209
Datenverarbeitung, kommerzielle 330
Datenverarbeitungsanlage, automatische 325
–, elektronische 6
Decodier-Logik 235
Decodierschaltung 256
Decodierung 255
– des Zählerinhaltes 235
Dekadische Zähler 240
Dekadischer Vorwahlschalter 296
De Morgansche Regeln 48, 108, 109, 110
De Morgansche Regel: Zeichnerische Anwendung 114
Denäres Element 22
Dezimal-System 19, 20
Dezimalzähler 218, 246
Dezimalzahl 20, 23
Dezimalziffer 23
Digital 2
–rechnen 6
–signalisieren 6
–Analog-Umsetzer 329, 348
Digitalausgabe 329
Digitale Abbildung 11
–Anzeige 3, 5
–Darstellung 3, 5
–Entscheidung 36

–Meßeinrichtung 137
–Signalisierung 9, 11
–, Vorzüge 12
Digitaleingabe 329
Digitaler Spannungsmesser 268
Digitales Meßgerät 6
–Signal 12, 14
–Wegmeßverfahren 135, 300
Digitaltechnik 2, 3, 14, 15
–, Vorzug 13
Digitaltechnischer Signalablauf 142
Digitaltechnisches Element 28
Digitaluhr 2, 270
Digitalvoltmeter 2, 4
Digitalzähler 18, 138
Digits 3
DIN Norm 407, 412
Diskrete Technik 74
Diskretes Signal 11
Division 335
Doppelsystem 348
Doppelte Negation 107
Drehzahlmessung mit Digitalzähler 264
Dreifachsystem 348
Dual-in-line 88
Duales Zahlensystem 21
Dualstelle 220
Dualzähler 218, 219
– mit Zählrichtungsvorwahl 227, 228
–, asynchron-rückwärtszählender 225
–, asynchron-vorwärtszählend 221, 230
–, synchron-vorwärtszählend 230
Dualzahl 23
Dualzahlensystem 277, 286
Dualziffer 23
Durchschnitt 46
DV-Flip-Flop 154
DVA 325
Dynamikvorsatz 146
–, vorbereitbarer 146
Dynamisch angesteuerter RS-Speicher 148
Dynamisch angesteuerter Speicher 146
Dynamische Ansteuerung 155
Dynamische Zweispeicher-Systeme 160
Dynamischer Hilfsspeicher 158
Dynamisches RS-Flip-Flop 230

E

Echtzeitbetrieb 330, 350
Echtzeituhr 350
Eingabe 329
Eingabebefehl 333
Eingabeoperation 325
Eingangsfrequenz 156
Eingangsgröße 39
Eingangslastfaktor 83
Eingangssignalkombination 144
Eingangsspeicher 160
Eins-Komplement 336
Einschaltverzögerung 186, 188
Elektrische Spannung 4
Elektronische Datenverarbeitung 6
–Logikglieder 78
–ODER-Schaltung 80
–UND-Schaltung 81
–Zähler 216
Elementarblock 65
Entscheidung, binäre 36
–, digitale 36
EXOR, Antivalenz 63, 115

F

Fan-in, Fan-out 83
Fehler korrigieren 290
Fehlererkennung 288
Fehlerprüfung, blockweise 284
Fernschreibcode 287
Fernschreiber 276
Fernsprechvermittlungstechnik 29
Ferrit-Ringkern 327
Flammwächterschaltung 178
Flanke, abfallende 197
–, ansteigende 198
Flankensteilheit 146
Flip-Flop 134, 150, 194
–Ansteuerung 165
–Schaltzeit 229
–Speicher 280
–Typ, industrieller 155
–Vorbereitungseingang 152
–, zweiflankengetriggertes 200
Flip-Flops, universelle 156
Fluidik 96

Fluidisches NOR-Element 100
Fluidisches UND-Glied 99
Frequenzmessung 263
Frequenzteiler 166
–Schaltung 161, 163
Frequenzteilerverhältnis 161
Frequenzuntersetzer 263
Frequenzvervielfachung mit Verzögerungsgliedern 190
Funktion, logische 408
Funktionelles Verhalten 153
Funktionstabelle 43, 58

G
Genauigkeit 4, 6, 13
Gerät, peripheres 329
Gray-Code 32, 286
Grundeinheit 10
Grundproblem des Zählens 218
Grundrechenart 335
Grundverknüpfung 38
–, logische 42
Grundzustand 225
Güte der Leitung 284

H
Halbadder, Halbaddierer 336
Hamming-Code 28, 290
Hardware 307
Hauptspeicher 158
High 406, 407
Hilfsspeicher 158, 329
Hysterese 12

I
IC-Baustein 88
Identität von Codeworten 124
IEC Norm 407, 412
Impulserfassung 219
Impulserzeuger 184
Impulsfolge 142, 276
Impulsformer 263
Impulsgeber 299
Impulsgenerator 138, 166, 184
Impulslückenkontrolle 180
Impulsserienweiche 182
Impulsspeicherung 219
Impulstor 138
Impulszählung 138
Indirekte Wegmessung 306
Information 7
Informationsabgabe 158
Informationsaufnahme 158
Informationsaustausch 6, 15
Informationsrepräsentation 157
Informationsübertragung 7, 276
–, digitale 276
Informationsverarbeitung 9, 157
Informationsverarbeitungsphase 158
Informationsvergleich 124
Informationsverschlüsselung 277
Informationsweichen 126
Inkremental-Wegmeßeinrichtung 300
Integrierte elektronische Digitalbausteine 78
Integrierte Schaltung 14, 88
Interface 210
Ist/Soll-Wertvergleich 237

J
JK-Flip-Flop 151
JK-Master-Slave-Flip-Flop 161, 196

K
Kanalumschaltung 126
Kanalwahlschalter 126
Karnaugh-Veitch-Diagramm 64 f
Kennlinie 12
Kennlinienschlauch 13
Kleiner-Größer-Gleich-Schaltung 118
Kleinste Nachrichtenmenge 28
Kommunikation 25
Komplement 251
Komplementierung 335
Kontaktprellung 165
Koordinatenlesegerät, numerisches 321
Korrekturverfahren 290
Kosten/Bit 327
Kurzzeitmessung 261
KV-Diagramm, allgemein 64
– für zwei Variable 65
– für drei Variable 66
– für vier Variable 65, 67

L
Lampenfeld, virtuelles 212
Laufrichtungserkennung 302
Laufschrift 197
Leitwerk 333
Lesespannung 327
Lesevorgang 327
Leuchtanzeige 329
Linienschreiber 5
Löschbefehl 136
L0-Signalflanke 151
L0-Signalwechsel 150
Lochkarte 14
Lochkartenleser 326, 329
Lochkartenstanzer 329
Lochstreifen 313, 317
Lochstreifen-Code-Tabelle 314
Lochstreifenleser 314, 329
Lochstreifenstanzer 316, 329
Logik, negativ 406
–, positiv 406
–, zweiwertige 38
Logikfamilie 78
Logikpegel 405
Logiksymbole, internationale 409, 412
Logikzustand 405
Logische Funktion 408
–Grundverknüpfung 42
–Variable 38
Low 406, 407
LSI-Schaltung 90

M
Magnetbandspeicher 326, 328
Magnetkernspeicher 331
Magnetplatte 327
Magnettrommel 327
Master 160
Master-Slave-Flip-Flop 157, 160, 197 f
Mechanisches UND-Element, Zylinderschloß 76
Mechanisierung 325
Mehrstelliger Dualzähler 220
Mengenzähler 245
Meßgröße 3, 9
–, analoge 5
Meßgrößen-Erfassungsstelle, zentrale 8
Meßgrößenverlauf 5
Meßinstrument, digitales 4
Meßwert 5
Miniaturisierung 74
Minimierung 64
Minterm 71
Mintermnormalform 70
Minuend 336
Modem 329
Modulo-N-Zähler 239
–2-Zähler 238
–3-Zähler 238
–5-Zähler 239
Monoflop 172
Monoflop mit dynamischem Eingang 174
– mit statischer Ansteuerung 175
– Variante 174
Monostabile Kippstufe 172
MSI-Schaltung 89
Multiplikation 335
Multivibrator 184, 191

N
Nachricht 7, 280
Nachrichtenelement 25
Nachrichtentechnik 6
Nachrichtenverarbeitung, digitale 276
Nachtriggerbares Monoflop 175
NAND 85
–Gatter, Glied 104
–Technik 104
NC-Maschine 294
Nebensprechen 275
Negation 41, 82
–, Formelzeichen 42
–, doppelte 107
–, Symbol 42
Negative Flanke 150
–Logik 406, 407
NICHT aus NAND 106
NICHT aus NOR 106
NICHT-Beziehung 38
–Verknüpfung 42
–, Symbol 42
NOR 84
–Glied, Gatter 104, 139

–Technik 104
Normvergleich, internationaler 405 ff
Numerisch gesteuerte Maschine 294
Numerisch gesteuerte Zeichenanlage 321
Numerische Informationsverarbeitung 27
Numerische Steuerung 294

O

ODER aus NAND 106
ODER aus NOR 106
ODER-Gatter, Glied 41
ODER-Verknüpfung 38
–, Formelzeichen 40
–, Funktionstabelle 42
–, Symbol 40
Off-line 348
Offener Gattereingang 107
On-line, closed loop 348
On-line, open loop 348
Operation, arithmetische 332
Operationensteuerung 332, 344
Organisationsprogramm 350
Oszillator 184

P

Parallel-Serien-Umsetzer 207, 283
Paralleladdierwerk 338
Parity-Bit 288
Parity-Check 288
Periodendauermessung 265
Peripherie 329, 330
Plattenspeicher 326, 328, 329
Pneumatische Steuerung 92
Pneumistor 97
Positionieren 308
Positionierungssteuerung 311, 318
Positioniervorgang 311
Positionsdaten, eingeben 307
Positionssignalisierung 10
Positive Flanke 150
Positive Logik 406, 407
Potentialzuordnung 406, 407
Prellfreie Taste 165
Prellfreier Impulsgeber 217
Priorität des Eingangssignals 145
Programm 331, 334
Programmablauf 334
Programmablaufplan 334
Programmliste 315, 316
Programmsteckfeld 309
Programmunterbrechung 348, 350
Prozeßkopplung, geschlossene 350
–, offene 349
Prozeßmodell 350
Prozeßperipherie 348
Prozeßrechner 347
Prozeßrechnung, geschlossen gekoppelte 348
–, offen gekoppelte 348
–, ungekoppelte 348
Prozeßsteuerung 330
Prüfwort 290
Pseudodezimal 28
Pseudotetrade 28
Puffer 281
Pufferspeicher 281
Punktmenge 45
– der Variablen 45
Punktmengendarstellung einer Booleschen Variablen 64
Punktsteuerung 318

Q

Quantisierung 5, 11
Quarzoszillator 262
Quittierung 166, 285

R

Reaktionszeit 330
Real Time 330
Rechengeschwindigkeit 343
Rechenregel der Booleschen Algebra 49
Rechenwerk 332
Redundanter Code 28
Redundanz 28, 32, 289
Register 157, 281, 332
Reihenfolge beim Lösen von Schaltproblemen 60
Relais 77
Ringspeicher 204
Ringzähler 240, 298
Rolltreppensteuerung 179
RS-Master-Slave-Flip-Flop 161
RS-Speicher, dynamisch angesteuerter 148

Rückkoppelleitung 141
Rückstell-Befehl 136
Rückstelleingang 137, 139, 175
Rückstelleitung 140, 235
Rückstellsignal 141, 143
Rückstellung von elektronischen Zählern 234
Rückstellvorgang 137
Rückwärtssprung 335
Rückwärtszählender Dualzähler 224
Ruhezustand 139

S

Schalter 77
Schaltinformation 311
Schaltprobleme, Reihenfolge beim Lösen 60
Schaltung der Datenwege 345
Schaltungsentwurf mit NAND 114
– mit NOR 110
Schaltungstechnik, Anmerkung 107
Schaltungsvereinfachung mit KV-Diagramm 65
Schaltvariable 38
Schaltzeichen, nach DIN 409, 410, 411, 412
–, nach IEC 409, 410, 411, 412
Schiebebefehl 333
Schieberegister 159, 195, 283
Schieberegisterschaltung 240
Schiebetakt 157
Schiebetaktflanke 159
Schlüssel 277
Schnelldrucker 326, 329
Schreib-Lesekopf 327
Schreibvorgang 327
Schriftzeichen 25
Schrittmotor 298
Schwarzer Kasten 283
Schwellwerterfassung 122
Schwellwertschaltung 122
Selbsttätige Stern-Dreieck-Umschaltung 183
Selbstwählferndienst 30
Serien-Parallel-Umsetzer 208, 283
Setz-Befehl 136
Setzeingang 137, 139
Setzleitung 140
Setzsignal 143
Setzvorgang 137
Setzzeit 158
Sicherheitsschaltung 120
Signal 6
–, binär 10
–, diskret 11
–, verrauscht 275
Signal-Zeit-Plan 142, 172, 223
Signalablauf, digitaltechnischer 142
Signale, analoge 8
Signalflanke-0, L bzw. L, 0 146 ff
Signalflankensteilheit 159
Signalfrequenz 161
Signalgröße 9, 13
Signalisierungsart, analoge 6
–, digitale 6
Signalisierungsfehler 32, 288, 290
Signalkombination, unerlaubte 144
Signalleitung 281
Signalspeicher 134, 135
–, Arbeitsweise vom 136
– aus NOR 139
– mit Vorzugslage 142
Signalumkehr 84
Signalvereinbarung 25
Signalverknüpfung im Vergleich 105
Signalverstärkung 84
Signalwert 12
Signalzeitbeeinflussung 170
Slave 160
Software 307
Spannungswert, Zuordnung 406
Speicher 141
–, dynamisch angesteuerter 146
–, elektromagnetischer 135
–, elektronischer 135
–, magnetomotorischer 327
–, mechanischer 135
–, pneumatischer 135
Speicherart 327
Speicherausgang 139
Speicherelement 134
Speicherfunktion 139, 160
Speicherglieder 411
Speicherinhalt 157
Speicherkette 157
Speichermatrix 212

Speicherschaltung, interner Vorgang 139
Speicherstufe, dynamisch angesteuerte 147
Speichersystem 146
Speichertyp 326
Speicherung 9
Speicherzelle 331
Speicherzustand 141
Sprungbefehl 333, 334
Spulenbandgerät 328
Start-Stop-Betrieb 283
Startzeichen 283
Statische Ansteuerung 155
Statischer Eingang 205
Stellenanordnung, Stellenschreibweise 20
Stellenübertragsbildung 335 f
Stellenwertigkeit 220
Stellenzahl 338
Steuereingang 151
Steuerpendel 310
Steuerung, Peripherie 326
Steuerung, zeitliche 282
Steuerungsanlage 10
Steuerungsprogramm 315
Störsicherheit 15
Störung 275, 347
Stopzeichen 283
Streckensteuerung 318
Strichlineal 301
Subtrahend 336
Subtraktion 332, 335
– mittels Komplementierung 336
–, im dualen System 336
Summenschreibweise 20, 21
Symbol 19, 25
Symbolvereinbarung 25
Symbolvorrat 19, 26
Symbolzeichen 39
Synchron geschaltete Zähldekade 272
Synchron-Zähler 231
Synchronbetrieb 284
Synchrone BCD-Zähler 253
– Impulszählung 229
– Modulo-N-Zähler 238
Synchronisation 280, 283
Synchronisationsphase 284

T

T-Flip-Flop 156
Taktgeber 184
Taktgenerator 283
Taktimpuls 195, 281
Taktsignaleingang 156
Taktzeit 158
Tastatur 329
Teilautomatisierung 296
Torschaltung 261
Transistor als NICHT-Stufe 82
– als Signalverstärker 83
Triggereingang 149, 150
Triggerimpuls 159
Triggersignal 149, 150, 152
Triggerung 149
Trommelspeicher 329
Turbulenzverstärker als Negation 97
– als NOR-Element 98

U

Überlauf 338
Übertrag 22, 240, 247
Übertragsbildung 219
Übertragung 9
–, parallele 278
–, serielle 278
Übertragungsfehler 288
Umordnerschaltung 128
Umschaltbarer Asynchronzähler 228
Umwandlung analoger Meßgrößen 32
Umwandlung von Dezimalzahlen in Dualzahlen 23
Umwandlung von Dualzahlen in Dezimalzahlen 24
UND aus NAND 106
– aus NOR 106
–Gatter, Glied 39
–Verknüpfung 38
–Verknüpfung Formelzeichen, Symbol 39
Universelle Flip-Flops 156

V

Variable, binäre 38
–, Boolesche 38
–, logische 38
Ventil als NICHT-Stufe 95
Verdrahtungsautomat 323
Vereinigung 46

Verfügbarkeit 347
Vergleich zweier Dualzahlen 118
Vergleich, dezimales und duales Zahlensystem 22
Vergleicher 304
Vergleicherschaltung 306
Vergleichsnormal 5
Vergleichsschaltung in NAND-Technik 119, 124
– in NOR-Technik 119
Verknüpfung 38
Verknüpfungsglieder 409
Versorgungsspannung 140
Verweilzeit 172
Verzweigung 334
Verzweigungsbefehl 333, 335
Vierstelliger Dualzähler 223, 226
Virtuelle Codierung 212
Vollautomatisierung 296
Vorbereitbarer Dynamik-Vorsatz 146
Vorbereitungseingang 154, 197
Vorgabe eines Zählerinhaltes 237
Vorrat an Symbolen 19
Vorschubgeschwindigkeit 299, 303
Vorschubsteuerung 300, 304
–, digitale 298
Vorwärts-Rückwärts-Zähler 322
Vorwärts-Sprung 335
Vorwärtszählrichtung 227
Vorwahl der Signalabgabe 258
Vorwahlzähler 299

W

Wahrheitswert 37
Walking-Code 290
Wartung, vorbeugende 347
Weginformation 309
Wegmessung, direkte 306
–, indirekte 306
Wegsignalisierung 10
Wort 331
–, Bedeutung 333
Wortcode 27
Wortlänge 209

Z

Zähl-Code 29
Zähl-Flip-Flop 149, 219
Zähldekade 240, 247
–, Schaltungsbeispiel 248
Zähleinrichtung 216
Zähler, Anwendung 244
Zähler mit Vorwahl-Setz-Logik 237
Zählerart 219
Zählerauswertung 235
Zählereingang 138
Zählimpuls-Erfassung 217
Zählimpulsfolge 217
Zählkapazität 222, 246
Zählstelle 218
Zählzustand 222
Zahlensystem 18, 21, 277
Zahlenwert 19, 20, 21
Zehnerpotenz 20
Zeichen 283
Zeichenerkennung 315
Zeichengerät 329
Zeichensynchronisation 284
Zeichenvorrat 218
Zeitbestimmendes Schaltglied 170
Zeitglieder 410
Zeitmessung 137
Zeitraster 283
Zeitstufe 172
Zentraleinheit 326, 329, 330
Zielort 213
Ziffer 20, 21
Zifferncode 27
Zifferndrucker 6
Ziffernvorrat 20, 22
Zugriff, Zugriffzeit 326, 327
Zuordnung, von Logikwerten 405
–, von Logikzuständen 405
Zuordnungsmöglichkeit 25
Zuordnungsschaltung 23
Zuordnungssystem 25, 277
Zustand 197
–, undefinierter 197
Zweierpotenz 22
Zweierübertrag 336
Zweispeicher-Flip-Flop 158
Zweispeicher-Systeme, dynamische 160
Zweistelliger Dualzähler 221, 225
Zwischenspeicher 158, 200

18. Bildnachweis

Bild 1/ 2 Siemens AG, München
Bild 1/ 9 Simonsen & Weel, Albertslund/Dänemark
Bild 1/10 Elektronik GmbH, Berlin
Bild 1/12 ARISTO-Werke Dennert & Pape KG, Hamburg
Bild 1/13 Hewlett u. Packard, Frankfurt/M.
Bild 1/14 vgs Köln
Bild 1/33 Siemens AG, München
Bild 1/34 Lechler Apparatebau KG, Fellbach
Bild 1/35 Deutsche Bundespost, Bochum
Bild 1/36 Siemens AG, München
Bild 1/37 DEMAG Fördertechnik, Wetter/Ruhr
Bild 1/38 Fordwerke AG, Köln
Bild 1/39 Fordwerke AG, Köln
Bild 1/40 Philips Elektronik Industrie GmbH, Hamburg
Bild 1/41 ARISTO-Werke Dennert & Pape KG, Hamburg
Bild 1/42 BIZERBA, Balingen
Bild 1/43 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
Bild 1/44 USIS-Photo
Bild 1/45 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
Bild 1/46 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
Bild 1/62 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
Bild 1/63 Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut/Obb.
Bild 4/ 1a BKS Gesellschaft mbH, Velbert
Bild 4/ 1b Klöckner-Möller GmbH, Bonn
Bild 4/ 1c Siemens AG, München
Bild 4/ 7 Siemens AG, München
Bild 4/16 Klöckner-Möller GmbH, Bonn
Bild 4/19a Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising
Bild 4/20a Valva GmbH, Hamburg
Bild 4/20b Valvo GmbH, Hamburg
Bild 4/21a Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising
Bild 4/21b Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising
Bild 4/21c Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising
Bild 4/22a FESTO Maschinenfabrik G. Stoll, Esslingen
Bild 4/22b De Limon Fluhme & Co, Düsseldorf
Bild 4/29a Martonair, Druckluftsteuerungen GmbH, Alpen/Ndrh.
Bild 4/29b Martonair, Druckluftsteuerungen GmbH, Alpen/Ndrh.
Bild 4/31 Martonair, Druckluftsteuerungen GmbH, Alpen/Ndrh.
Bild 4/34c Norgren Fluidics, USA, Aufnahme: Jebec
Bild 4/35 Dr.-Ing. Stelzer, KFA Jülich
Bild 4/36 Dr,-Ing. Stelzer, KFA Jülich
Bild 5/ 1, Bild 5/ 2, Bild 5/ 3, Bild 5/ 4, Bild 5/ 5 Auszug aus Pocket-Guide: Integrierte Schaltungen. Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising 1973
Bild 6/ 2 TELEFUNKEN GmbH, Hannover
Bild 6/ 5 Crouzet GmbH, Erkrath-Unterbach, Aufn.: Jebec
Bild 6/ 8 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart, Aufn.: Jebec
Bild 6/ 9 Agfa-Geveart AG, Leverkusen
Bild 7/ 1e Siemens Ag, München
Bild 7/ 1f Deutsche Bundesbahn, Aufnahme: Rossberg
Bild 7/ 1g Sperry Remington GmbH, Frankfurt (Main)
Bild 7/26 Schleicher Electronic GmbH & CO KG, Berlin
Bild 8/ 1 Westdeutsche Luftwerbung WDL, Mülheim/Ruhr
Bild 8/ 2 Westdeutsche Luftwerbung WDL, Mülheim/Ruhr
Bild 8/ 3 Westdeutsche Luftwerbung WDL, Mülheim/Ruhr
Bild 8/ 4 Westdeutsche Luftwerbung WDL, Mülheim/Ruhr
Bild 8/26b WDR Köln; Aufnahme: Kratzer
Bild 9/ 1 Philips Elektronik Industrie GmbH, Hamburg
Bild 10/ 1 Wandel u. Goltermann, Reutlingen
Bild 10/ 2 ABG Apparatebau-Gesellschaft mbH, Leonberg
Bild 10/ 8 Motorola GmbH, Wiesbaden
Bild 10/12a Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising
Bild 10/12b Texas Instruments Deutschland GmbH, Freising
Bild 10/14 VALVO GmbH, Hamburg
Bild 10/16 Hengstler KG, Aldingen
Bild 10/19 Klöckner-Möller GmbH, Bonn
Bild 10/21 ADAC, Köln
Bild 10/23a Rhode & Schwarz, München
Bild 10/23b Rhode & Schwarz, München
Bild 10/27 OMEGA, Uhrenhandelsgesellschaft, Bad Soden
Bild 11/ 1 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
Bild 11/ 2 WDR Köln; Aufnahme: Kratzer
Bild 12/ 3 Siemens AG, München
Bild 12/ 7 Siemens AG, München
Bild 12/10 Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut/Obb.
Bild 12/12 Philips Elektronik Industrie GmbH, Hamburg

Bild 12/17a Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut/Obb.
Bild 12/17b Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut/Obb.
Bild 12/18 Scharmann & Co, Rheydt
Bild 12/21 Scharmann & Co, Rheydt
Bild 12/22 Scharmann & Co, Rheydt
Bild 12/23 Hermann Kolb Maschinenfabrik GmbH, Köln
Bild 12/26 Philips Elektronik Industrie GmbH, Hamburg
Bild 12/28 Hermann Kolb Maschinenfabrik GmbH, Köln
Bild 12/29 Hermann Kolb Maschinenfabrik GmbH, Köln
Bild 12/31 Siemens AG, München
Bild 12/32 Siemens AG, München
Bild 12/33a ARISTO-Werke, Dennert & Pape KG, Hamburg
Bild 12/34a EAI Electronic Assiciates GmbH, Aachen
Bild 12/34b EAI Electronic Assiciates GmbH, Aachen
Bild 12/35b Siemens Ag, München
Bild 12/36 Siemens AG, München
Bild 12/37 Ing. Heinz Schmoll Maschinenbau, Kronberg/Ts.
Bild 12/38 Siemens AG, München
Bild 12/39 Siemens AG, München
Bilder auf Seite 1: WDR Köln; Aufnahme: Kratzer.
Alle nicht besonders aufgeführten Aufnahmen stammen von Jebec, Köln.

VDI-Fachbücher z.B.:

Digitaltechnik I
Elemente der mathematischen Entwurfsverfahren
Von Dr. rer. nat. Helmut Groh und Dr.-Ing. Wolfgang Weber. VDI-Taschenbücher, T 3. 1969. VI, 144 Seiten. 108 Bilder, 16 Tabellen. Format 13,8 X 21 cm. Kart. DM 12,80
ISBN 3-18-403003-2

Digitaltechnik II
Schaltelemente
Von Dr.-Ing. Winfried Seifert. VDI-Taschenbücher, T 4. 2. Aufl. 1973. VIII, 83 Seiten. 93 Bilder. Format 13,8 X 21 cm. Kart. DM 9,80
ISBN 3-18-403204-3

Digitaltechnik III
Steuerungstechnik mit elektronischen Funktionselementen
Von Dipl.-Ing. Volkmar Kussl. VDI-Taschenbücher, T 5. 2., erweiterte Auflage. 1973. X, 127 Seiten. 117 Bilder, 22 Tabellen. Format 13,8 X 21 cm Kart. DM 9,80
ISBN 3-18-403205-1

(VDI-Mitglieder erhalten 10 % Preisnachlaß)

NC-Programmierung mittels Time-Sharing
Grundlagen — Entscheidungskriterien — Anwendungsbeispiele
Von Dr.-Ing. Knut Krumeich. Herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB). 1977. XIV, 404 Seiten. 67 Bilder, 8 Tabellen. DIN A 5. Kart. DM 59,—
ISBN 3-18-400367-1

Mikrorechner
Struktur und Programmierung
Von Dr. Klaus Bender, Dipl.-Ing. Werner Heinzel, Dr.-Ing. Helmut Jacob, Dipl.-Ing. Walter Motsch und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weber. Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weber. 1977. X, 170 Seiten. 66 Bilder, 3 Tabellen. Reihe „Digitaltechnik". DIN A 5. Kart. DM 44,—
ISBN 3-18-400359-0

Programmieren von Prozeßrechnern
Von Dipl.-Ing. Volkmar Kussl. Reihe „Digitaltechnik". Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weber. 1975. XII, 204 Seiten. 83 Bilder, 23 Programme. DIN A 5. Kart. DM 49,—
ISBN 3-18-400308-6

Der Prozeßrechner mit seinen Koppelelementen
Von Obering. Peter Mielentz. Reihe „Digitaltechnik". Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weber. 1974. 111 Seiten. 59 Bilder, 4 Tabellen. DIN A 5. Kart. DM 26,—
ISBN 3-18-400294-2

Programmierbare Steuerungen
Von Dieter Kleim und Walter Wolfgarten. Reihe „Digitaltechnik". Herausgegeben von Prof Dr.-Ing. Wolfgang Weber. 1975. XII, 225 Seiten. 157 Bilder, 6 Tabellen. DIN A 5. Kart. DM 52,—
ISBN 3-18-400312-4

Fernwirktechnik
Überwachen und Steuern von Prozessen
Von Walter Wolfgarten, Holm Benndorf, Werner Bizer, Georg Gerner, Klaus Peter Müller, Josef Rödig, Friedrich Schindele und Ulrich Schmudlach. Reihe „Digitaltechnik". Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weber. 1975. XII, 184 Seiten. 87 Bilder, 10 Tabellen. DIN A 5. Kart. DM 49,—
ISBN 3-18-400317-5

VDI-Verlag GmbH • D-4000 Düsseldorf 1 • Postfach 1139